

GENERACION DE AYUDAS PARA EL USO DEL SOFTWARE MEPDG EN EL
DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS

DANIA KARINA QUIROGA GROSSO
LUIS FERNANDO QUIROZ MONROY

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2012

GENERACION DE AYUDAS PARA EL USO DEL SOFTWARE MEPDG EN EL
DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS

DANIA KARINA QUIROGA GROSSO
LUIS FERNANDO QUIROZ MONROY

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

DIRECTOR
EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN
Ingeniero Civil, Msc, Phd

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2012

*Doy gracias a Dios quien me permite vivir día a día
y me dio la oportunidad de vivir este momento tan maravilloso.*

*A mi papito Rogelio Quiroga, y a mi mamita
Esperanza Grosso que son el motor de mi vida,
que los adoro y a ellos les debo lo que hoy día soy.*

*A mi abuelita María Delia, y a mi tía Clara Inés
porque son personas muy especiales conmigo y siempre
estuvieron pendientes de mí en este proceso de formación.*

*A Luis Fernando Quiroz por el amor que me ha
brindado desde que estoy con él, por aguantarme tanto
y porque con el he vivido momentos bonitos de mi vida.
A mis familiares, como lo son tíos, tías, primos y primas
Gracias por apoyarme en todo momento.*

Dania Karina Quiroga Grosso

Primero a Dios que con su grandeza hizo realidad este sueño.

*A Ligia Esmeralda y Luis Eduardo mis viejitos,
que con su esfuerzo y dedicación Lograron que todo esto se hiciera
realidad, de igual forma a mi hermanita Lilibian Carolina.*

*A Osidio Alonso por su apoyo e interés en mi
Formación desde que llegue a Bucaramanga.*

*A Dania Karina por su cariño y comprensión
en todos los momentos de mi vida.*

*Y de igual manera a mis tíos, primos y amigos que
sin su apoyo habría difícil lograr este momento.*

Muchas Gracias

Luis Fernando Quiroz Monroy

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por permitirnos concluir con éxito este proceso, donde hubo momentos difíciles y con su ayuda logramos salir a delante, para cumplir con todo lo que nos propusimos.

Al ingeniero Eduardo Alberto Castañeda por ser nuestro director de proyecto y darnos la oportunidad de trabajar a su lado.

Al instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en cabeza del doctor Ricardo Lozano, a Graciela Correa y Ernesto Rangel , y demás funcionarios del IDEAM seccional Santander .

A todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Civil por compartir sus conocimientos y experiencias en todos estos años de formación.

Al personal administrativo de la Escuela de Ingeniería Civil en especial a Nuri y Sonia por su colaboración en todo momento.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. GENERALIDADES	19
1.1 EVOLUCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO AASTHO.....	20
2. DEFINICIONES	21
2.1 DISEÑO EMPÍRICO	21
2.2 DISEÑO MECANÍSTICO	21
2.3 DISEÑO MECANÍSTICO – EMPÍRICO.....	21
2.3.1 Beneficios Del Método Mecanístico– Empírico.....	22
3. GUÍA DE DISEÑO AASHTO 2002 (MEPDG)	23
3.1 INTRODUCCIÓN AL FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE MEPDG.....	25
3.2 INFORMACIÓN GENERAL	28
3.3 IDENTIFICACIÓN DEL SITIO.....	29
3.4 PARÁMETROS DE ANÁLISIS.....	29
3.5 TRÁFICO	30
3.6 ESTRUCTURA	31
3.6.1 Propiedades De Las Capas	33
3.7 CLIMA.....	36
3.7.1 Datos del Clima Requeridos por el EICM.....	37
3.8 ENTRADA DE DATOS DE CLIMA EN EL SOFTWARE DE MEPDG.....	38
3.8.1 Métodos para generar datos climáticos	38
3.8.1.1 Generación interna de datos.....	38
3.8.1.2 Importar Datos:	38
3.9 FORMATO DE ARCHIVOS ICM.....	40
3.9.1 Generación de Archivos Climáticos.	40
4. GENERALIDADES DEL CLIMA.....	43
4.1 FLUCTUACIONES CLIMÁTICAS	43

4.2 LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA.....	44
4.3 EL CAMBIO CLIMÁTICO	44
4.4 LAS TENDENCIAS CLIMÁTICAS.....	45
4.5 TEMPERATURA.....	45
4.6 PRECIPITACIÓN	45
5. CLIMATOLOGÍA COLOMBIANA	47
5.1 FACTORES GEOGRÁFICOS.....	48
5.1.1 Latitud	48
5.1.2 Altitud	49
5.2 FACTORES ATMOSFÉRICOS.....	49
5.2.1 Temperatura	49
5.2.2 Humedad del Aire	49
5.2.3 Vientos	50
5.3 ZONAS CLIMÁTICAS EN COLOMBIA	51
5.4 PISOS TÉRMICOS	55
5.5 CICLO ANUAL DE PRECIPITACIONES ENCOLOMBIA.....	57
6. GENERACIÓN DE BASE DE DATOS PARA ESTACIONES SITUADAS A DIFERENTES ALTURAS EN COLOMBIA EN LA QUE SE ENCUENTRE INFORMACIÓN DE LA TEMPERATURA HORARIA.....	59
7. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA VARIABLE TEMPERATURA A PARTIR DEL CONCEPTO DE GRADIENTE TÉRMICO VERTICAL.....	66
7.1 GRADIENTE TERMICO VERTICAL	66
7.2 ELBORACIÓN TERMOGRAMAS	66
7.3 PROCEDIMIENTO PARA GENERAR GRÁFICAS	70
7.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	76
7.5 LIMITACIÓN	81
CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.....	82
BIBLIOGRAFÍA.....	84
ANEXOS.....	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones climatológicas	59
Tabla 2. Ordenamiento de datos, Estación Berlín.....	61
Tabla 3. Ordenamiento de datos, Estación Unipamplona.....	62
Tabla 4. Ordenamiento de datos, San Antonio	62
Tabla 5. Ordenamiento de datos, Estación Neomundo	63
Tabla 6. Filtración de datos y promedio de hora mensual	67
Tabla 7. Datos para elaborar termograma mensual.....	68
Tabla 8. Promedios horarios mensuales para cada Estación	70
Tabla 9. Promedios de temperaturas horarias y su respectiva altitud (Enero).....	71
Tabla 10. Promedios de temperaturas horarias y su respectiva altitud (Enero)....	72
Tabla 11. Ecuaciones generadas de algunos meses del año.....	74
Tabla 12. Ecuaciones programadas	75
Tabla 13. Época región andina	76
Tabla 14. Comparación de ecuaciones.....	79
Tabla 15. Ecuaciones programadas segunda época cálida de la región andina ...	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Procedimiento General de diseño de la guía MEPDG.....	24
Figura 2. Software MEPDG.....	26
Figura 3. Diseño de Programa.....	27
Figura 4. Clasificación por color.....	28
Figura 5. Ventana Tráfico.....	31
Figura 6. Ventana para datos de estructura.....	32
Figura 7. Posibles capas que suministra la guía para el diseño de pavimentos....	34
Figura 8. Modelo estructural adoptado por la guía para pavimentos rígidos.....	35
Figura 9. Métodos de incorporación de datos climáticos.....	39
Figura 10. Generación de datos internos.....	39
Figura 11. Formato de archivo *.icm.....	41
Figura 12 : zonas climáticas.....	47
Figura 13. Zonas climáticas.....	48
.Figura 14: Selva Amazónica.....	51
Figura 15:Rozo-Valle del Cauca.....	52
Figura 16: Sabana Departamento de Bolívar.....	53
Figura 17:Desierto en la Guajira.....	54
Figura 18: Chinchiná Caldas.....	54
Figura 19: Pisos Térmicos de Colombia.....	55
Figura 20.Parámetros Geográficos de la estación de Berlín.....	64
Figura 21. Archivo ICM Estación Berlín.....	65
Figura 22. Termograma mes de Enero, estación Berlín.....	68
Figura 23. Termograma anual de temperaturas promedios horarias mensuales...	69
Figura 24. Gráfico generado con los datos de la tabla 9.....	72
Figura 25.Línea de tendencia con su respectiva ecuación (Enero).....	73
Figura 26. Grafica comparativa según tabla 14.....	79

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Parámetros geográficos de las distintas estaciones utilizadas para la elaboración del proyecto.....	85
ANEXO B. Datos de temperaturas horarias de las estaciones Berlin, Neomundo, Unipamplona, San Antonio	CD
ANEXO C. Archivos (ICM) Estaciones en estudio	CD
ANEXO D. Promedios horarios mensuales	CD
ANEXO E. Tabla graficas y ecuaciones.....	CD
ANEXO F. Ecuaciones totales	CD
ANEXO G. ecuaciones programadas	CD
ANEXO H. Selección de ecuaciones por época	CD
ANEXO I. Datos especiales IDEAM.....	CD

RESUMEN

TITULO:

GENERACIÓN DE AYUDAS PARA EL USO DEL SOFTWARE MEPDG EN EL DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS*

AUTORES:

QUIROGA Grosso Dania Karina **

QUIROZ Monroy Luis Fernando **

PALABRAS CLAVES:

Guía de Diseño de Pavimentos, Clima, Altitud, Temperatura del aire, Gradiente térmico vertical, Software MEPDG, Base de datos, Estación climatológica.

DESCRIPCIÓN:

La enorme suma de dinero que todos los años se emplea en conservación y construcción vial obliga a la aplicación de los mejores procedimientos de diseño disponibles para así optimizar el uso de los recursos del país.

En Colombia el diseño de Pavimentos está basado principalmente en métodos empíricos y en menor cuantía en métodos mecanísticos pero que no se relacionan en una metodología principal de diseño, por lo que cualquier cambio de las condiciones ya sean relacionadas con el tránsito o el clima de la zona en estudio puede hacer que métodos de este tipo pierdan confiabilidad a la hora de predecir el dimensionamiento de un pavimento; debido a esto es necesario implementar nuevos métodos de diseño como lo es la guía de diseño de pavimentos Mecasnístico- empírico aashto 2002, la cual considera como importante en su proceso de diseño variables como : tráfico , estructura y efectos climáticos propios del sitio en estudio y los incorpora al software integrado para su análisis.

Como la adaptación de la guía de diseño AASHTO 2002 y los parámetros que maneja el software a otras regiones diferentes a los Estados Unidos de Norte América es muy extensa y además que el software trae incorporado información de diferentes estaciones climatológicas de esta región que en nada se parecen a los datos que se puedan presentar en la región tropical , se ha centrado la recopilación de datos en el parámetro de temperatura del aire horaria, analizando el comportamiento de esta variable en el país y generando bases de datos para su posterior implementación en el software MEPDG.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Mc, Phd IngenieroCASTAÑEDA Pinzón Eduardo Alberto

ABSTRACT

TITLE:

AID GENERATION SOFTWARE FOR USE IN THE DESIGN MEPDG PAVEMENT*

AUTHORS:

QUIROGAGrosso Dania Karina **

QUIROZ MonroyLuis Fernando **

KEYWORDS:

Pavement Design Guide, Climate, Altitude, Air temperature, Vertical Thermal Gradient, Software MEPDG, Database, weather Station.

DESCRIPTION:

The huge amount of money each year is used in road maintenance and construction requires the application of best available design methods to optimize the use of the resources of the country.

In Colombia Pavement design is mainly based on empirical methods and to a lesser extent in mechanistic methods but are not related in a primary design methodology, so any change in conditions related to either transit or climate study area can make such methods lose reliability in predicting the design of a pavement; because it is necessary to implement new design methods such as the pavement design guide Mechanistic -empirical AASHTO 2002, which he regards as important in their design process variables such as traffic, weather effects structure and own the site under study and integrated them into the software for analysis.

As the adaptation of the 2002 AASHTO design guide and parameters handled by the software to other regions other than the United States of America is very large and well-built the software brings data from different weather stations in this region than nothing resemble the data that may occur in the tropics, has focused data collection in the parameter of air temperature time analyzing the behavior of this variable in the country and creating databases for subsequent implementation in the software MEPDG.

* Degree Project

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director Mc, Phd Engineer Eduardo Alberto Castañeda Pinzón.

INTRODUCCIÓN

En Colombia el diseño de pavimentos según el Instituto Nacional de Vías está basado principalmente en métodos empíricos por lo que cualquier cambio de las condiciones ya sean relacionadas con el tránsito o el clima de la zona de estudio puede hacer que métodos de este tipo pierdan confiabilidad a la hora de predecir el dimensionamiento de un pavimento.

Es por esto que es necesario promover la implementación de nuevos métodos como los mecanístico-empíricos que utiliza la guía AASHTO 2002 para el dimensionamiento de estructuras de pavimento, utilizando el software MEPDG (Mechanistic-Empirical-Pavement-Design-Guide).

La guía considera como variable importante además de (tráfico, estructura y materiales), la determinación de los cambios climáticos que puedan afectar la estructura, entre estos se encuentra la temperatura factor importante en el diseño de la capa de rodadura, en el caso de los pavimentos flexibles los materiales asfálticos son extremadamente sensibles a los cambios de temperatura debido a su comportamiento viscoso.

La guía de diseño actualmente contiene datos históricos horarios de la información climática de distintas estaciones climatológicas de Norte América y en consecuencia estas bases de datos pueden generar algún tipo de análisis defectuoso en el diseño de pavimentos en el país dado que son tomadas en base a estaciones climáticas propias de países nórdicos.

En Colombia por tratarse de un país tropical el relieve es la variable determinante de las temperaturas del día. Como la adaptación de la guía de diseño AASHTO 2002 y los parámetros que maneja el software a otras regiones diferentes a los

Estados Unidos es muy extensa, se ha centrado la recopilación de datos en el parámetro de temperatura del aire horaria. En este estudio se pretende llegar a una metodología de cálculo para determinar la variable temperatura respecto a la altitud, conociendo una serie de datos de temperaturas horarias de diferentes estaciones de Colombia, para luego implementarlas en archivos que se puedan importar en la utilización del software de la guía.

1. GENERALIDADES

Los primeros métodos de diseño de pavimentos se hacían a base de experimentos, y desde luego a la experiencia de quien elaboraba el proyecto.

Entre 1920 y 1930, los ingenieros empezaron a reconocer que las cargas de tránsito y su distribución por ejes eran factores fundamentales en el diseño de pavimentos. Es por eso que la División de Carreteras de Illinois organizo y llevo a cabo el ensayo vial de Bates entre 1922 y 1923. Este experimento fue hecho en una calzada de 4 km de largo cerca de Springfield, Illinois. La calzada fue dividida en varios sectores y se usaron diferentes materiales: Ladrillo, concreto asfáltico y hormigón.

Las primeras pruebas en el estudio del comportamiento de estructuras de pavimento dieron inicio con el ensayo vial AASHO el cual fue elaborado y promovido por la American Association of State Highway and Transportation Officials la cual la conocemos como AASHTO. El objetivo principal de las pruebas era identificar relaciones significativas entre el comportamiento de varias secciones de pavimento y las cargas aplicadas sobre estas.

La planeación de las pruebas empezó en 1951, años más tarde exactamente en 1956 se dio inicio a la construcción del pavimento cerca a Ottawa, Illinois, se eligió esta zona por poseer características de suelos uniformes y típicos de gran parte de Estados Unidos, por otro lado el clima era el típico del norte del país, luego el pavimento fue sometido a tránsito controlado en octubre de 1958 dando fin dos años después en 1960. Los pavimentos se construyeron en circuitos a lo largo de una sección de 8 millas aproximadamente 13 km, se realizaron 6 circuitos de prueba doble carril el cual tenía un tramo en pavimento de concreto y el otro en pavimento flexible. El circuito 1 se dejó sin cargas para estimar cualquier cambio que se produjera en el pavimento ante las condiciones climáticas de la zona, en

el circuito 2 se utilizó cargas de camiones ligeros, en los circuitos 3,4,5,6 se realizaron aplicaciones con camiones pesados. En total se examinaron 368 secciones de pavimento rígido y 468 secciones de pavimento flexible.

Los principales objetivos del ensayo vial AASHO fueron:

- Hallar la relación entre el número de repeticiones de cargas por eje de diferente magnitud y configuración y el espesor necesario del pavimento.
- Recolectar datos necesarios de las secciones y realizar un informe del comportamiento del pavimento ante todos los eventos propuestos.
- Desarrollar instrumentos, procedimientos de ensayos, datos, tablas, gráficos y fórmulas a partir del ensayo, las cuales serán valiosas para el diseño de futuras vías.

1.1 EVOLUCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO AASTHO

- Entre 1958 y 1960 se realizaron los Experimentos Viales de la AASHO.
- La primera Guía de Diseño AASHTO que se emitió fue en 1961. Esta fue revisada y modificada varias veces.
- En 1961 y 1962 se realizó la Guía Provisional de AASHO.
- En 1972 se revisó la Guía Provisional AASHO.
- En el año de 1981 se revisó el Capítulo III referente a pavimentos Rígidos.
- En 1993 apareció la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO con el concepto del proceso de diseño de sobrecapas.
- En el año de 1998 se presentó un suplemento para la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO de 1993, que estaba enfocado al diseño de pavimentos rígidos. En esta etapa de la Guía de Diseño AASHTO se comenzó con los principios del método mecanístico.
- Este fue el comienzo del uso del método Mecanístico-Empírico y el comienzo de una nueva etapa del diseño de pavimentos con la nueva Guía de Diseño AASHTO 2002.

2. DEFINICIONES

Los métodos de diseño de pavimentos en la actualidad más conocidos como empíricos se fundamentan principalmente en experiencias ingenieriles y observaciones entre la relación de las cargas de tráfico y espesores de pavimentos para una región y un comportamiento climático específico.

2.1 DISEÑO EMPÍRICO

- Se fundamenta en resultados de experimentos y necesita de muchas observaciones para establecer relaciones entre las variables de diseño y su posterior comportamiento.

Los métodos de diseño mecánico se desarrollan de acuerdo a las propiedades de los materiales y además cómo estas propiedades se relacionan con la ejecución de la construcción del pavimento, y permite a los profesionales del tema adaptar el diseño del pavimento a materiales específicos, lugares de ejecución, cargas de tráfico.

2.2 DISEÑO MECANÍSTICO

- Es necesario conocer las propiedades fundamentales de los materiales.
- Es una aproximación netamente científica.

2.3 DISEÑO MECANÍSTICO – EMPÍRICO

- Es una mezcla de conceptos mecánicos y empíricos.
- Utiliza métodos empíricos para relacionar las respuestas de los pavimentos con su funcionamiento.

- Incorpora factores mecanicistas para determinar la respuesta del pavimento después de ser sometido a cargas, mediante modelos matemáticos.

2.3.1 Beneficios Del Método Mecánico– Empírico

- El diseño ya no es solo para el espesor de la estructura se hacen consideraciones estructurales y de los materiales.
- Este método hace un manejo profundo de los efectos climáticos y los diseños respecto a la seguridad.
- Posee mejor capacidad para manipular las características variables del tránsito.
- Capacidad de extrapolar información de los estudios realizados en campo y en laboratorio.
- Su funcionabilidad está fundamentado en deterioros y además de la calidad y el estado de la carretera.
- Capacidad para incorporar materiales de pavimentos disponible

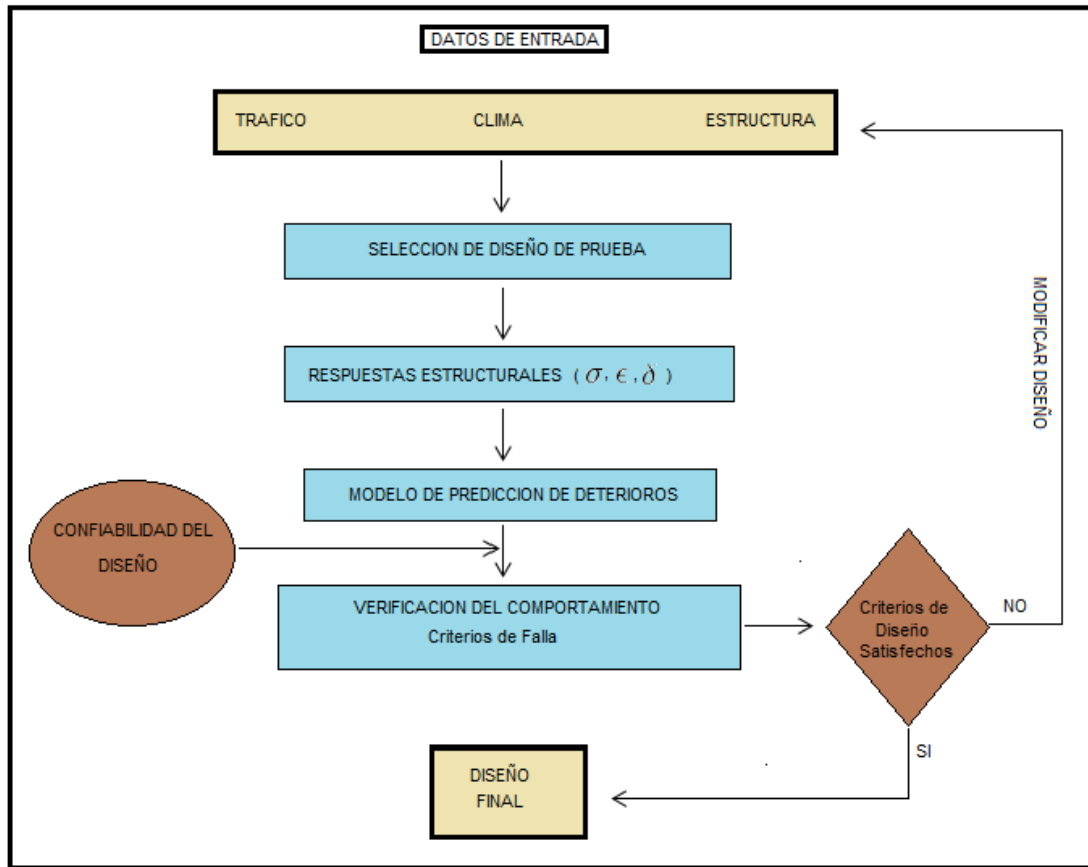
3. GUÍA DE DISEÑO AASHTO 2002 (MEPDG)

Es así que se llega a la nueva etapa del diseño de pavimentos, la Guía de Diseño Mecanicista – Empírico AASHTO 2002 (MEPDG) la cual representa un cambio en el diseño debido a que en esta metodología el proyectista se encuentra totalmente envuelto en el proceso de diseño y tiene la facilidad de considerar diferentes características y materiales propios del lugar de estudio.

La guía utiliza diferentes parámetros vitales para el diseño tales como datos sobre tráfico, estructura y medio ambiente en base a esto y utilizando toda la documentación como también el software, este programa elabora la predicción de la evolución de determinados indicadores de deterioro a lo largo del periodo para el cual este diseñado el proyecto, los cuales no deberán sobrepasar resultados de deterioro previamente establecidos por el diseñador. En caso que no se cumpla con estos umbrales el diseñador tiene la opción de ir modificando de forma iterativa los parámetros de diseño buscando una solución que satisfaga sus requerimientos.

En la siguiente ilustración se observa en detalle el procedimiento general utilizado por la Guía MEPDG para el dimensionamiento de pavimentos.

Figura 1. Procedimiento General de diseño de la guía MEPDG.



Fuente: Autores del Proyecto.

Observando la Figura 1 se nota que las principales entradas que solicita el software son el tráfico, materiales y clima que posteriormente se combinan con elementos estructurales para desarrollar un diseño de prueba.

El software proporciona varios niveles jerárquicos respecto a los datos de entrada según la confiabilidad que se le desee dar al diseño los cuales se mencionaran a continuación:

- Nivel 1. Datos específicos del diseño obtenidos directamente de ensayos de laboratorio.

- Nivel 2. Utilización de correlaciones o tablas para generar la información requerida. En general valores obtenidos empíricamente a base de correlaciones.
- Nivel 3. Uso de valores que se encuentran en el ámbito nacional o regional.

Debido a la existencia de estos niveles jerárquicos en los datos de entrada el software permite generar proyectos en los cuales la información no pertenezca a un mismo nivel jerárquico pero se debe tener en cuenta primordialmente la importancia del proyecto y los recursos disponible para utilizarlo de esta manera.

Al introducir estos datos de entrada el software computa las respuestas del pavimento ante estos parámetros usando elementos finitos complejos y modelos de capa elástica. Después el proceso relaciona empíricamente en el tiempo, las fallas generadas, una vez pronosticadas para el diseño de prueba, el diseñador se encuentra en la facultad de probar el diseño a un nivel de confiabilidad seleccionado, con base en el comportamiento. Si el diseño de prueba satisface el criterio de funcionamiento se puede decir que el diseño es factible, en caso contrario el diseñador puede modificar el mismo hasta obtener una solución razonable.

3.1 INTRODUCCIÓN AL FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE MEPDG.

La versión de la guía (MEPDG) está disponible para cualquier persona con acceso a internet en <http://www.trb.org/mepdg/> que tenga interés en la utilización de la guía y el software. La guía de diseño se presenta en un formato pdf de Adobe que es solo de lectura. El software puede ser descargado libremente pero su protección ante posibles copias requiere acceso a la red para comprobar un determinado archivo que se encuentra en la plataforma de la Junta de Investigación del Transporte.

Figura 2. Software MEPDG

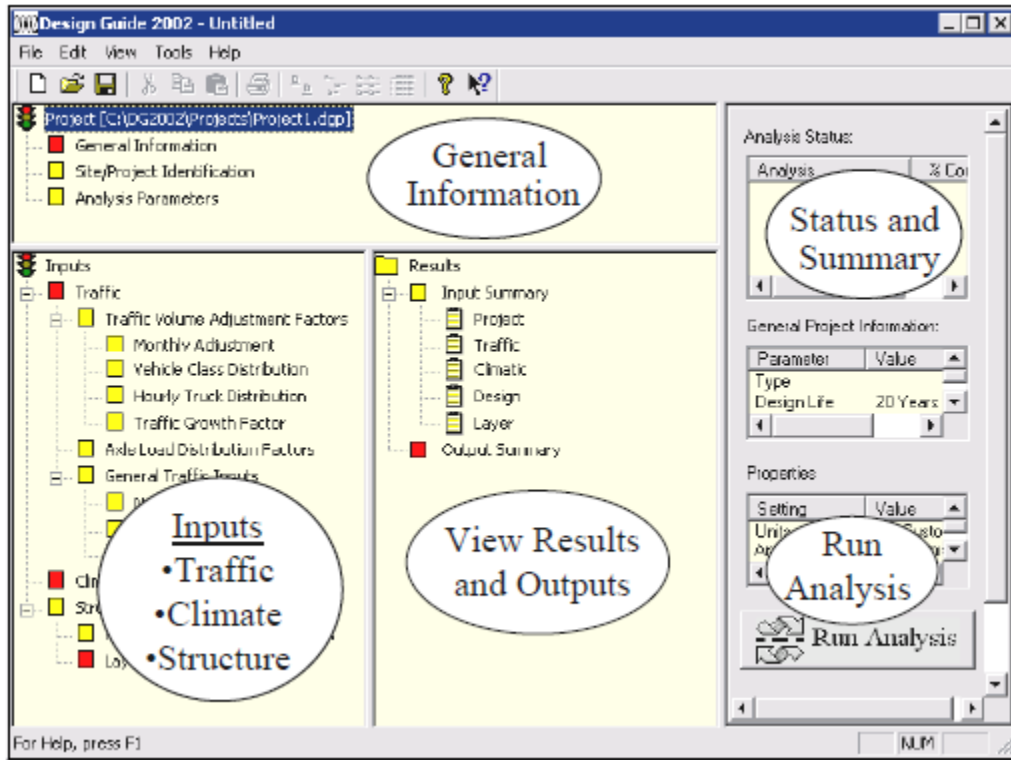


Fuente: Guía de Diseño AASHTO 2002

A continuación se explicaran los aspectos más relevantes acerca de los datos de entrada enfocándonos más hacia los datos del clima (Temperatura del aire) los cuales son objeto de estudio en el presente libro.

Los usuarios en primer lugar proporcionan al software la información general del proyecto y luego las entradas en tres categorías principales (tráfico, clima, estructura). Ver Figura 3

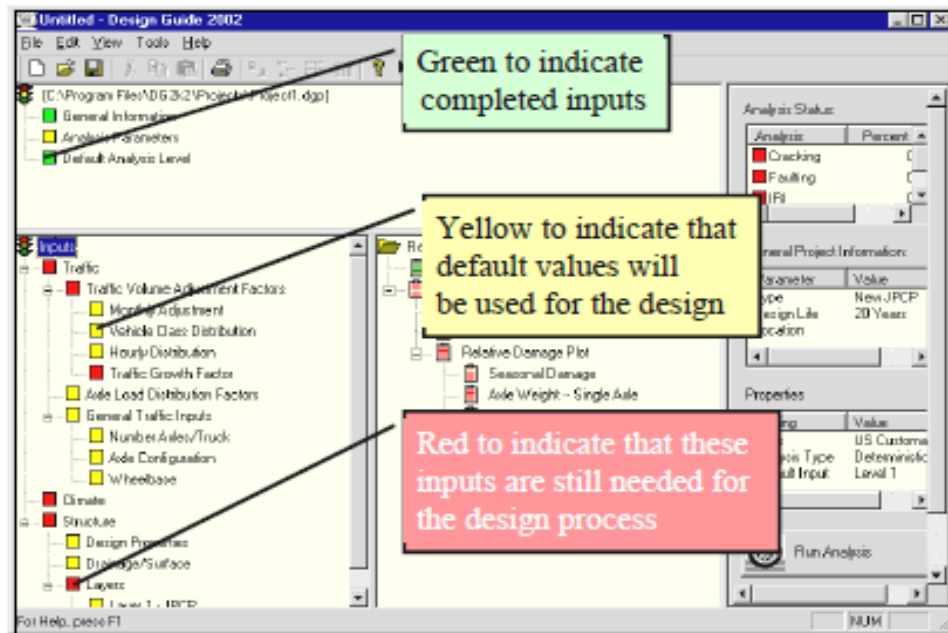
Figura 3. Diseño de Programa.



Fuente: Guía de Diseño AASHTO 2002

Todos los datos que el programa requiere se encuentran clasificados por colores como se muestra en la Figura 4. Los datos que aún no se han introducido están clasificados en color rojo. Los que tienen valores por defecto están clasificados de color amarillo y los que tienen datos completos su código es color verde.

Figura 4. Clasificación por color.



Fuente: Guía de Diseño AASHTO 2002

3.2 INFORMACIÓN GENERAL

En esta sección el software requiere todos los datos respecto al proyecto tales como:

- *Tipo de pavimento*: Esta opción es vital para el proyecto pues en base a esta se determina el método de diseño.
- *Vida de diseño*.
- *Mes de construcción de la base/subrasante*.
- *Mes de construcción del pavimento*.
- *Mes de apertura de Tráfico*.

3.3 IDENTIFICACIÓN DEL SITIO

Esta entrada es importante pues la localización del sitio del proyecto permite definir condiciones de tráfico según la importancia de la vía y condiciones climáticas para el diseño del pavimento.

Este grupo de entradas corresponden a:

- Localización de proyecto.
- Identificación de las secciones de la vía, su inicio y fin.
- Clase funcional del diseño de pavimento, el cual se divide en los siguientes ítems:
 - Arteria principal: Interestatales.
 - Arterias menores.
 - Rutas locales y calles.

3.4 PARÁMETROS DE ANÁLISIS

El diseñador debe dar la pauta para el diseño de prueba aclarando el tipo de análisis si es para pavimentos rígidos o flexibles y además selecciona los tipos de daños severos que se quieren considerar para luego evaluar el funcionamiento de la estructura de pavimento, el diseñador tiene dos opción para escoger el tipo de análisis puede ser por solución determinística o solución probabilística. Dependiendo del tipo de pavimento se especifica los criterios de funcionamiento, para los cuales se establecen umbrales los cuales darán una visión de lo que se espera del análisis.

Los tipos de daños considerados por la guía para el diseño de estructuras de pavimentos flexible son los siguientes:

- Grietas por fatiga de la superficie hacia abajo.

- Grietas por fatiga del fondo hacia arriba.
- Agrietamiento por temperatura.
- Fractura por fatiga de capas estabilizadas químicamente.
- Deformación permanente total.
- Rugosidad (IRI).

El diseñador tendrá la posibilidad de incorporar algunos o todos los criterios que la guía ofrecen al proyecto y evaluar su funcionamiento ante estos parámetros.

3.5 TRÁFICO

Esta ventana permite a los usuarios hacer las entradas generales de volumen de tráfico y también proporciona un enlace a pantallas las cuales solicitan otros tipos de datos relacionados con el tráfico tales como ajuste de volúmenes, factores de distribución de carga e información general.

Entradas generales:

- Tráfico promedio diario anual de doble sentido.
- Número de carriles en la dirección de diseño.
- Porcentaje de vehículos en la dirección de diseño.
- Porcentaje de vehículos en el carril de diseño.
- Velocidad operacional del vehículo (mph).

En esta ventana se encuentra varios enlaces, estas son sub-ventanas que necesitan información de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Ajuste mensual del tráfico a través de los diferentes meses del año.
- Distribución de la clase vehicular.
- Distribución horaria del TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual).
- Factores de crecimiento del tráfico.

Figura 5. Ventana Tráfico

The 'Traffic' dialog box contains the following fields and controls:

- Design Life (years): 25
- Opening Date: November, 2002
- Two-way average annual daily truck traffic: 2250
- Number of lanes in design direction: 2
- Percent of trucks in design direction (%): 50.0
- Percent of trucks in design lane (%): 90.0
- Operational speed (mph): 60
- Traffic Volume Adjustment: Edit
- Axle load distribution factor: Edit
- General Traffic Inputs: Edit
- Traffic Growth: Compound, 4%
- Buttons: OK, Cancel

Fuente: Guía de Diseño AASHTO 2002

3.6 ESTRUCTURA

El usuario en esta etapa tiene que elegir los parámetros estructurales y una combinación de capas que puedan ser evaluados por su comportamiento estructural, el procedimiento es un método iterativo y el usuario tendrá que desarrollar un diseño de ensayo y hacer modificaciones antes de tener un diseño confiable y económicamente viable.

La entrada de datos que corresponden a la estructura se clasifican en tres categorías: *Características de diseño JPCP para rígidos*, *Propiedades de*

superficie y drenaje y propiedades de las capas. La pantalla del programa de diseño principal y el software abren una pantalla para activar las entradas para las características de diseño JPCP. Las entradas que se hacen en esta pantalla se muestran en la Figura 6.

Figura 6. Ventana para datos de estructura.

The screenshot shows a software dialog box titled "JPCP Design Features". It is organized into several sections:

- Top Section:** "Slab thickness (in):" 11, "Permanent curl/warp effective temperature difference (°F):" 10.
- Joint Design Section:** "Joint spacing (ft):" 15, "Sealant type:" Liquid (dropdown), "Random joint spacing(ft):" (checkbox unchecked), "Doweled transverse joints:" (checkbox checked), "Dowel diameter (in):" 1.25, "Dowel bar spacing (in):" 12.
- Edge Support Section:** "Tied PCC shoulder:" (checkbox unchecked), "Widened slab:" (checkbox unchecked), "Long-term LTE (%):" (empty field), "Slab width(ft):" (empty field).
- Base Properties Section:** "Base type:" Cement treated (dropdown), "PCC-Base Interface:" Bonded (radio selected), Unbonded (radio unselected), "Erodibility index:" Very Erosion Resistant [2] (dropdown), "Loss of bond age (months):" 60 (text field).

At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

Fuente: Guía de Diseño AASHTO 2002

El espesor de la losa por defecto aparece en la pantalla, otros aspectos que se debe tener en cuenta son ancho de la losa y seleccionar la correspondiente interfaz entre la losa y la capa base.

En cuanto a las características de drenaje y de superficie la información necesaria para este ítem incluye los siguientes parámetros:

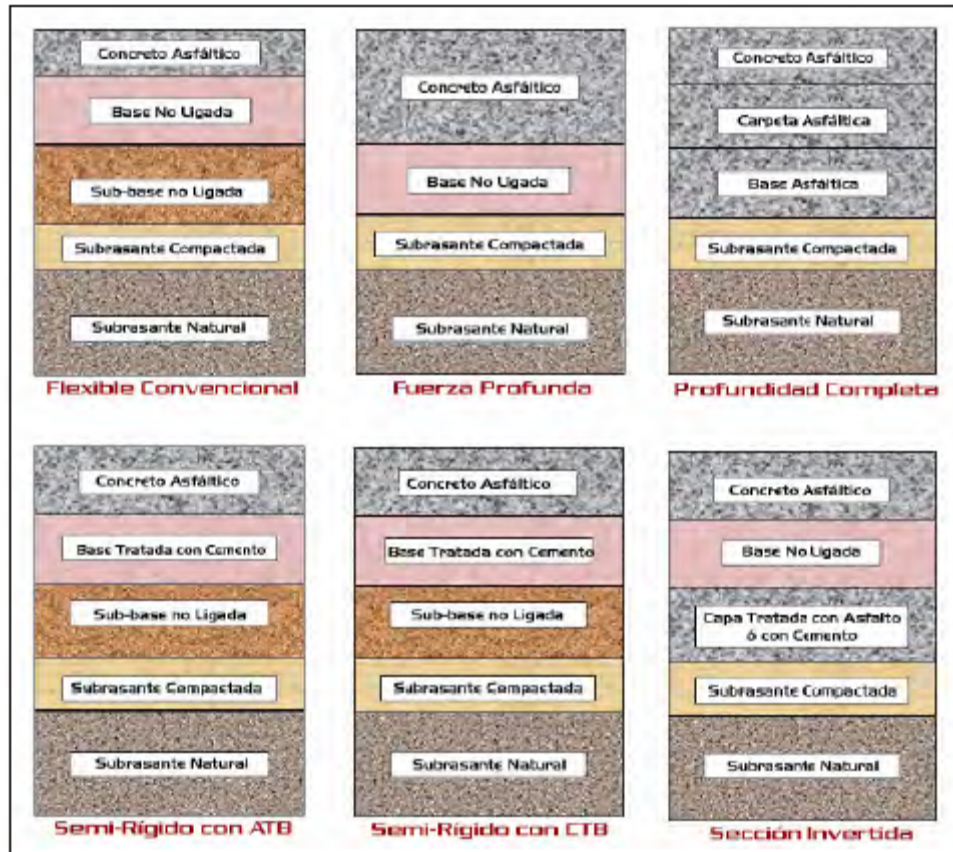
- Longitud del recorrido del drenaje.
- La absorbencia de onda corta en la capa superficial de pavimento.
- Capacidad de infiltración.
- Clase de pavimento de pendiente transversal.

3.6.1 Propiedades De Las Capas

Para el diseño de pavimentos flexibles, la guía de diseño permite una amplia variedad de materiales para el diseño, asfalto, base y subbase, además espesores de las capas mostrados en la Figura 7, es así que en un diseño de una estructura de pavimento puede incorporarse una o más capas superficiales de concreto asfáltico, de bases tratadas con asfalto, de subbase de agregados, subrasante compactada, subrasante natural y lecho de rocas.

El diseño original hecho por el ingeniero está basado en 4 o 6 capas. Pero el software de la guía AASHTO 2002 puede subdividir la estructura del pavimento en 12 a 15 subcapas para modelar los cambios que se presentan en esta por parámetros como temperatura y humedad.

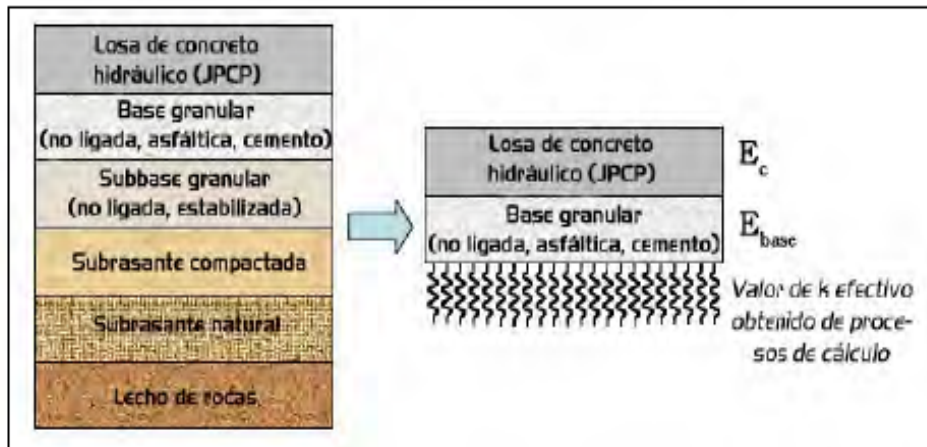
Figura 7. Posibles capas que suministra la guía para el diseño de pavimentos



Fuente. Guía de Diseño AASHTO 2002

La guía AASHTO 2002 permite una amplia variedad de propiedades de los materiales y de espesores de capas, base y subbase para el diseño de pavimentos rígidos. Ver Figura 8. Un diseño de pavimento rígido puede consistir de una losa de concreto hidráulico, una base tratada con asfalto, una subbase de agregados, una subrasante compactada, una subrasante de suelo natural y un lecho de rocas.

Figura 8. Modelo estructural adoptado por la guía para pavimentos rígidos.



Fuente. Guía de Diseño AASHTO 2002, editada por Autores

El software de la Guía AASHTO 2002 puede utilizarse con un máximo de 20 capas. A continuación se mencionan ciertas normas que son necesarias para elaborar el diseño de pavimentos rígidos:

- Para el diseño de la superficie de un pavimento rígido se debe tener en cuenta que siempre es una capa de concreto hidráulico.
- Es necesario que una capa granular no ligada este colocada entre dos capas estabilizadas.
- Las últimas dos capas en la estructura de pavimento deben ser capas no ligadas. Para solucionar esta condición, el software de la Guía AASHTO 2002 automáticamente modela las subcapas de la subrasante en dos capas similares para pavimentos de losas escalonadas y para pavimentos donde una capa ligada descansa directamente sobre la subrasante.

Para definir un diseño de prueba, se deben definir todos los parámetros necesarios de la estructura tales como, las capas del pavimento y las propiedades de materiales para cada capa incluyendo la subrasante. Dependiendo

del diseño de prueba seleccionado, el software desarrolla las subcapas internamente basado en el tipo de material, espesor de capa y de la localización de la capa dentro de la estructura de pavimento esto para satisfacer los requerimientos de las capas del proceso de análisis.

3.7 CLIMA.

Los efectos del medio ambiente sobre el comportamiento de los pavimentos son considerados por la guía AASHTO 2002 como factores importantes en el diseño de la estructura de pavimento. Parámetros climáticos tales como temperatura, precipitación, congelamiento y profundidad de nivel freático son vitales en el diseño pues con estos se puede definir las limitaciones respecto a materiales, humedad, drenabilidad, infiltración que presenta la estructura ante los efectos del medio ambiente.

Dos de los factores que afectan más una estructura de pavimento son la temperatura y la humedad pues estas variables afectan significativamente las propiedades de la capa de rodadura y la subrasante ocasionando un deterioro y afectando la capacidad de carga de la estructura.

Estos parámetros de temperatura y humedad que afectan la vida de diseño del pavimento son considerados ampliamente por la GUIA AASHTO 2002 mediante una herramienta de modelamiento climático llamada Mejoramiento del Modelo Climático Integrado (EICM). Este es un programa dimensional integrado del flujo de calor y humedad que simula los posibles cambios que pueda presentar los componentes de la estructura del pavimento a través de sus años de operación ante las condiciones climáticas que se presenten en el lugar. De esta manera el clima es completamente incorporado dentro de la metodología de la GUIA AASHTO 2002 pues el software del EICM ha sido desarrollado como parte integral

de la misma teniendo como característica el desarrollo interno de todos los cálculos necesarios.

3.7.1 Datos del Clima Requeridos por el EICM.

Información Respecto al Tiempo: La guía AASHTO 2002 necesita la información de los siguientes parámetros relacionados con el tiempo en base horaria durante el periodo de diseño para desarrollar un análisis climático requerido para el incremento de acumulación de daño.

- **Temperatura horaria del aire:** La temperatura del aire es necesaria para la ecuación de balance de calor, y en el EICM para el cálculo de las ondas de radiación emitidas por el aire y por la transferencia de calor convectivo de la superficie hacia el aire.
- Precipitación horaria.
- Velocidad del viento horaria.
- Porcentaje de los rayos del sol horario.
- Humedad relativa horaria.

Es muy importante que los datos estacionales del tiempo suministrados para el modelamiento de la estructura sean de 2 años (24 meses) para que el software de la guía proporcione soluciones lógicas. Estos datos de clima interactúan con las propiedades de los materiales, las propiedades de las capas y entradas de drenaje en la plataforma del EICM para producir perfiles de distribución de temperatura horaria a través de la estructura, perfiles de humedad horaria, número de días mojados anual y valores mensuales de humedad relativa.

3.8 ENTRADA DE DATOS DE CLIMA EN EL SOFTWARE DE MEPDG.

El software incluido en la guía de diseño presenta varias formas de introducir los datos climáticos, que dependen de la información disponible del lugar en el cual se construirá la estructura de pavimento.

3.8.1 Métodos para generar datos climáticos

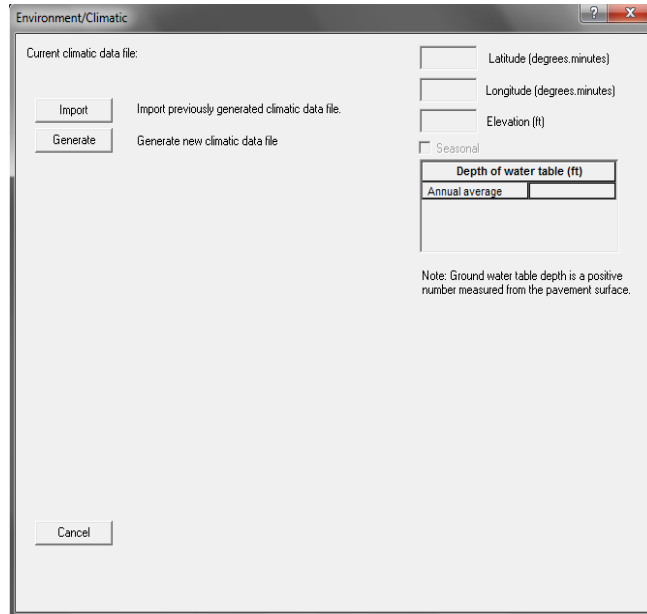
3.8.1.1 Generación interna de datos: La guía de diseño mecanístico-empírico AASHTO 2002 fue elaborada para uso en los Estados Unidos y por lo tanto la base de datos interna que maneja el software pertenece a regiones netamente de este país.

Así pues el diseñador introduce datos de latitud, longitud, elevación y el programa automáticamente interpola las 6 estaciones más cercanas a esas coordenadas y genera un archivo de datos climáticos, también se pueden generar datos de estaciones específicas las cuales son generadas por el programa ver figura 9.

De esta forma los diseños que se elaboren quedaran delimitados por los datos que se encuentran en el software

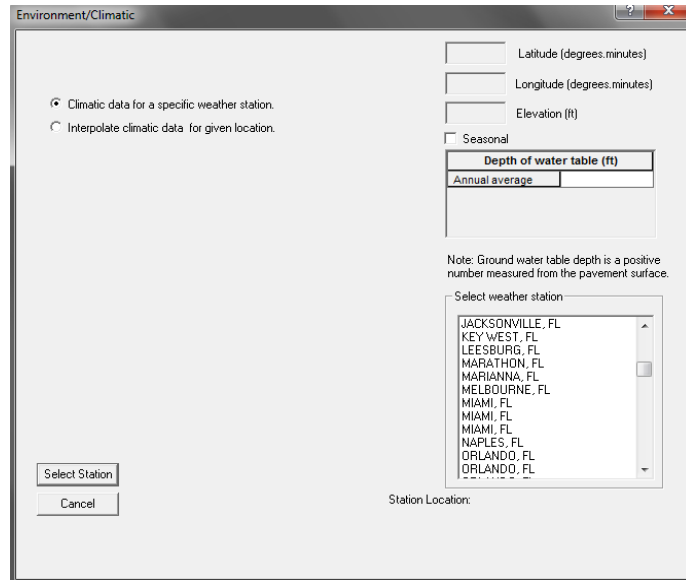
3.8.1.2 Importar Datos: Debido a que los datos incluidos en el software corresponden a estaciones situadas en Estados Unidos el análisis de posibles proyectos a desarrollar en el ámbito regional podrían generar resultados defectuosos, esto porque los climas que se presentan en la zona norte del continente americano distan mucho de los climas presentados en la parte ecuatorial del continente. Por eso surge la necesidad de generar bases de datos de estaciones que se encuentren en la región de estudio, para ello la guía de diseño MEPDG, dispone de una guía para los formatos de archivos usados por el EICM que permitirán que los datos climatológicos recolectados sean incorporados satisfactoriamente en el proceso de diseño.

Figura 9. Métodos de incorporación de datos climáticos.



Fuente: Editado por autores.

Figura 10. Generación de datos internos.



Fuente: Editado por autores.

3.9 FORMATO DE ARCHIVOS ICM

El formato utilizado es (*.icm) (input modelclimate) el cual es generado por la base de datos climáticos cada hora y contiene toda la información necesaria para la ejecución del Modelo Climático Integrado (EICM).

3.9.1 Generación de Archivos Climáticos.

En base a los datos recolectados en las diferentes instituciones meteorológicas nacionales se puede generar un archivo (*.icm) teniendo en cuenta el siguiente procedimiento:

- Los datos deben estar en un archivo (*.xlsx) para su reordenamiento y pasaje a unidades inglesas.
- Con la ayuda de herramientas como Word Pad o Editor (DOS) crear el a archivo*.icm como se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Formato de archivo *.icm

	FECHA DE COMIENZO DE REGISTROS	FECHA DE FIN DE REGISTROS	PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO	CODIGOS NIVEL FREATICO CONSTANTE	TEMPERATURA MEDIA ANUAL	
	20050101	20061231	-1, -1, -1, -1	60, 100, 50	82.6, 82.7, 79.7, 83.7, 82.4, 79.7, 83.7, 79.7, 82.6, 82.7, 82.6, 82.6	
LONGITUD	-73.8728	3150.10				
MES	1	2005	5	18	1015	
LATITUD	0 72.32	0 1.27532628962088	10	10		
DIA	1	72.14	0 0.783095090118086	0	10	
ELEVACION	2	72.32	0 0.850217526413922	0	10	
	3	71.96	0 0.626476072094469	0	10	
	4	71.6	0 0.492231199502797	0	10	
	5	70.7	0 0.962088253573648	0	10	
	6	70.16	0 1.07395898073337	10	10	
PRECIPITACION (PULG)	7	72.68	0 1.00683654443754	25	10	
	8	77.36	0 1.54381603480423	75	10	
	9	83.12	0 0.671224362958359	75	10	
HORA	10	86.72	0 0.71597265382225	100	10	
	11	88.34	0 3.08763206960845	100	10	
	12	87.8	0 5.12367930391548	100	10	
	13	88.34	0 3.96022374145432	50	10	
	14	88.7	0 3.5574891236793	25	10	
	15	86.72	0 4.60907395898073	50	10	
TEMPERATURA (°F)	16	84.74	0 4.2958359229335	25	10	
	17	82.4	0 2.93101305158484	10	10	
	18	79.52	0 1.32007458048477	0	10	
	19	77.9	0 1.25295214418894	0	10	
	20	75.92	0 1.49906774394034	0	10	
	21	74.84	0 0.559353635798633	0	10	
	22	74.12	0 1.38719701678061	0	10	
	23	74.12	0 1.16345556246116	0	10	
	1	2	2005	5	18	955
	0	73.94	0 0.783095090118086	0	10	
	1	74.3	0 0.469857054070851	0	10	
	2	73.94	0 1.14108141702921	0	10	
	3	73.22	0 1.47669359850839	0	10	

Fuente: Editado por autores

Finalmente después de que todas las entradas requeridas por el programa son introducidas, el software de la guía de diseño AASHTO 2002 comienza el proceso de análisis para determinar el comportamiento del diseño a través de la vida de operación del pavimento.

4. GENERALIDADES DEL CLIMA

Toda propiedad o condición de la atmósfera, cuyo conjunto define el estado físico del clima de un lugar dado para un periodo de tiempo determinado, es conocida con el nombre de elemento climático.

Los principales elementos del clima son la presión atmosférica, la temperatura, la precipitación, la humedad, la velocidad y dirección del viento, el brillo solar, y la nubosidad; también se consideran los fenómenos tales como la niebla, las tormentas eléctricas, los vendavales, la bruma y el humo.

Estos elementos se convierten en variables climatológicas cuando contienen valores cuantitativos o cualitativos, producto de las mediciones u observaciones. Generalmente, tienen los mismos nombres que los elementos; pero se diferencian en que el elemento es de característica física en sí, mientras que la variable es su valoración.

Con el análisis del comportamiento de esas variables en el tiempo y en el espacio, es posible hacer conclusiones sobre el clima actual, el clima del pasado, las fluctuaciones climáticas de diversa escala, entre otros.

4.1 FLUCTUACIONES CLIMÁTICAS

El clima varía en escalas del tiempo y del espacio. Grandes áreas de la tierra sufren fuertes variaciones como en las zonas áridas y semiáridas, donde la precipitación experimenta cambios significativos. Los extremos climáticos pueden afectar a cualquier región, por ejemplo severas sequías pueden ocurrir en zonas húmedas y ocasionales inundaciones en regiones secas.

Para fines analíticos las fluctuaciones pueden ser definidas como cambios en la distribución estadística usual utilizada para describir el estado del clima. La estadística climática comúnmente usada se refiere a los valores medios de una variable en el tiempo. Los valores medios pueden experimentar tendencias, saltos bruscos aumento o disminuciones en la variabilidad, o aun una combinación de tendencias y cambios en la variabilidad.

4.2 LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

La variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima durante periodos de tiempo relativamente cortos. Esta incluye los extremos y las diferencias de los valores mensuales, estacionales y anuales con respecto a los valores climáticos esperados. El grado de magnitud de la variabilidad puede describirse por la diferencia presentada entre las estadísticas a largo plazo de un elemento climático y las obtenidas para un periodo de menor longitud.

4.3 EL CAMBIO CLIMÁTICO

La variación observada en el clima durante periodos consecutivos de varias décadas, es decir, periodos relativamente largos, se llama cambio climático. El cambio climático determina diferencias en los valores medios de un elemento climático a lo largo del tiempo, es decir, que cualquier cambio climático significativo puede dar lugar al establecimiento de un nuevo clima normal y por lo tanto a un ajuste en las actividades humanas.

Procesos externos tales como la variación de la radiación solar, variaciones de los parámetros orbitales de la Tierra (excentricidad o inclinación), los movimientos de la corteza terrestre y la actividad volcánica son factores que tienen gran importancia en el cambio climático. Aspectos internos del sistema climático también pueden producir fluctuaciones de suficientes magnitudes y variabilidad a

través de los procesos de retroalimentación de los componentes del sistema climático.

4.4 LAS TENDENCIAS CLIMÁTICAS

La tendencia climática corresponde a los cambios de un elemento climático o del clima, caracterizados por aumentos o disminuciones paulatinas del valor medio en el tiempo. La tendencia climática no está restringida a un cambio lineal en el tiempo, sino que se caracteriza por un valor máximo o mínimo para el punto final del periodo.

4.5 TEMPERATURA

En términos generales se sabe que la temperatura es una magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio medio de las moléculas en un cuerpo físico. En particular, cuando se habla de la temperatura del aire, nos estamos refiriendo a la medida del estado térmico del aire con respecto a su habilidad de comunicar calor a su alrededor. La temperatura del aire en superficie es la temperatura leída en un termómetro expuesto al aire en una garita, caseta o abrigo meteorológico que permite la existencia de una buena ventilación y evita los efectos de la radiación solar directa sobre el termómetro, a una altura comprendida entre 1.25 y 2 metros sobre el nivel del suelo.

4.6 PRECIPITACIÓN

La precipitación o caída de hidrometeoros hasta hacer contacto con la superficie terrestre, se presenta de diferentes formas, las que se les conocen como: Llovizna, La Lluvia, El Chaparrón, El Granizo y la nieve.

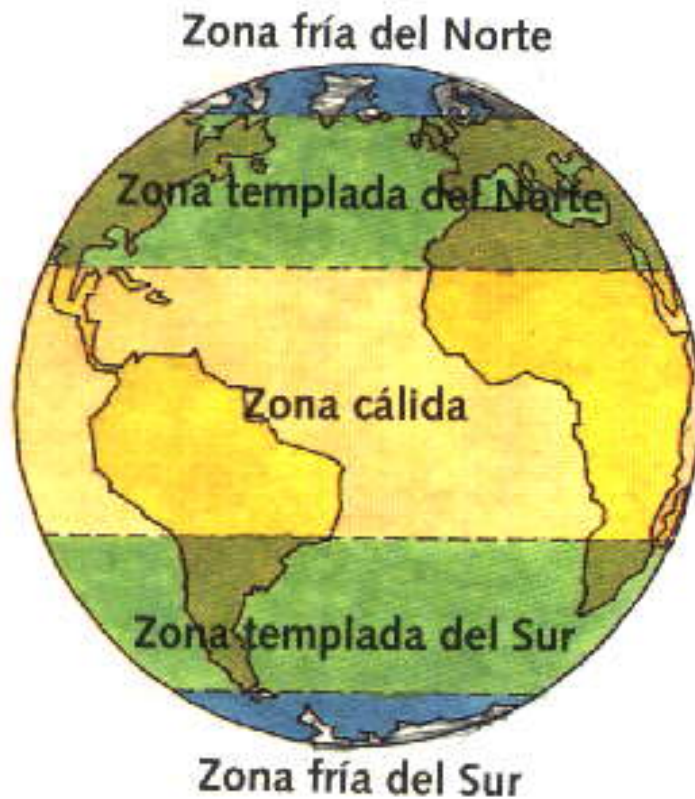
El régimen normal de precipitación en cada punto del planeta está determinada por su situación geográfica y por la influencia de algunos factores importantes

como la circulación atmosférica, el relieve, la interacción entre la tierra y el mar, la influencia de áreas selváticas o boscosas entre otros. Este parámetro es uno de los más importantes, si se tiene en cuenta que en el trópico Ecuatorial es el modificador número uno del clima.

5. CLIMATOLOGÍA COLOMBIANA

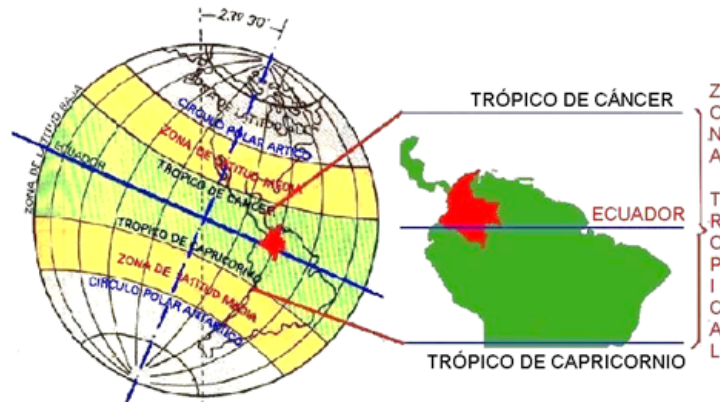
Colombia, al estar situada en la Zona ecuatorial, debería tener clima tropical, de temperaturas elevadas durante todo el año. Pero la combinación de ciertos factores, hacen que Colombia presente una amplia diversidad de climas.

Figura 12 : zonas climáticas



Fuente. <http://centros3.pntic.mec.es/cp.la.canal/clima/zonas.jpg>

Figura 13. Zonas climáticas



Fuente: <http://pwp.supercabletv.net.co/garcru/colombia/Colombia/clima.html>

El clima está determinado por dos grandes factores: factores Geográficos y los factores Atmosféricos.

5.1 FACTORES GEOGRÁFICOS

5.1.1 Latitud

Colombia está atravesada en el extremo sur; por la línea ecuatorial y su territorio se extiende hasta los **12°30'40"** de latitud norte y los **4°13'30,5"** de latitud sur respectivamente. Por consiguiente el territorio está ubicado en su gran mayoría en el hemisferio norte de la tierra y a través de toda su extensión en la zona tórrida, llamada así ya que sobre ella caen los rayos solares en forma vertical durante todo el año, por este suceso Colombia debería tener un clima muy caluroso, pero gracias a la interacción de factores como la humedad y el relieve, se logra contrarrestar los efectos de la radiación.

5.1.2 Altitud

La altitud es la principal determinante del clima en las diferentes áreas del país, haciendo que la temperatura disminuya a medida que se asciende. Debido a las diferentes alturas del terreno colombiano, el país cuenta con variadas zonas climáticas que van desde las más calientes (ya sean secas o extremadamente húmedas), hasta las más frías y glaciales (en donde se presentan precipitaciones en forma de nieve), pasando por zonas templadas, donde su temperatura varía de acuerdo a la altitud relativa sobre el nivel del mar. Esto da lugar a los llamados pisos térmicos.

5.2 FACTORES ATMOSFÉRICOS

5.2.1 Temperatura

En un mismo lugar se observa que la temperatura será muy similar durante el año, como consecuencia de la ubicación tropical del territorio y de la radiación solar que es uniforme. Sin embargo se encuentra que los grados de calor atmosférico varían de un sitio a otro según sea su altura sobre el nivel del mar, estos grados oscilan entre 0°C y 35°C en casos extremos.

5.2.2 Humedad del Aire

Varía según las características que presente cada región ya que factores como la altitud, la temperatura, la vegetación, las masas de agua próximas o ausencias de ellas, los vientos planetarios y las lluvias influyen en su comportamiento. Por todas estas razones es que en Colombia la humedad del aire es bastante diversa.

Las regiones de Colombia donde se registra la mayor precipitación, coincidiendo con un altísimo grado de humedad atmosférica, son las costas selváticas del Chocó, donde el promedio de lluvias es de 8386.7 mm por lo cual figuran entre las más elevadas del mundo; la Amazonía y la Orinoquía, le siguen en su orden. La

circunstancia opuesta en lo que a precipitaciones acuosas se refiere, se encuentra en Uribía (Guajira), donde el pluviómetro señala escasos 313.9 mm al año.

5.2.3 Vientos

Los vientos más importantes para Colombia son los alisios. La zona por donde pasa la línea del ecuador es la más cálida de la Tierra y por consiguiente, un área de bajas presiones. Los vientos alisios son los que soplan desde las regiones de altas presiones hacia la zona ecuatorial.

Estos vientos tienen gran influencia sobre regiones planas del país, como en la llanura del Caribe, la Orinoquía y la Amazonia, en donde se presentan circulaciones de aire bien definidas en el transcurso del año. En los valles interandinos y en las zonas montañosas, las condiciones del relieve y radiación solar, son quienes determinan en gran parte la dirección y velocidad del viento.

En el territorio colombiano, por el contraste que presenta entre mar-tierra en las costas y por el complejo relieve, se generan sistemas de circulación locales (vientos locales) en donde se destacan:

La brisa de mar- tierra:La brisa de mar-tierra se presenta en las proximidades de las costas. Frecuentemente al final de la mañana se establece un viento que sopla del mar hacia la tierra y al comienzo de la tarde alcanza su máxima intensidad; después disminuye progresivamente y en la noche puede cesar o invertirse en una corriente dirigida de la tierra al mar

La brisa valle-montaña:Se produce cuando las pendientes de las montañas se calientan por radiación solar y la temperatura del suelo se hace más alta que la del aire; así, se establece una corriente que sube por las montañas o colinas en días soleados. En la noche el suelo se enfría lo que ocasiona que el aire descienda de las montañas a los valles.

5.3 ZONAS CLIMÁTICAS EN COLOMBIA

El clima en Colombia se puede clasificar de la siguiente manera:

Selva Tropical Húmeda y Lluviosa: Este es uno de los climas más implacables debido a que presenta extremos de temperaturas; superiores a los 27° C, como de humedad presentando permanentes y abundantes lluvias.

.Figura 14: Selva Amazónica



Fuente: <http://viajesudamerica.com/selva-amazonica-de-colombia/>

Las selvas chocoanas del Catatumbo y las de la cuenca Amazónica; la región central del Magdalena, la Costa Pacífica, la vertiente oriental de la cordillera Oriental en su borde exterior, la serranía de Perijá y las estribaciones de las cordilleras Occidental y Central donde comienza la llanura del Caribe poseen este clima inhóspito.

Clima Tropical de Sabana, Semi- Húmedo: Se caracteriza por registrar temperaturas por encima de los 24°C con una fluctuación hasta los 27°C.

Figura 15:Rozo-Valle del Cauca



Fuente.<http://pwp.supercabletv.net.co/garcru/colombia/Colombia/clima.html>

Presenta una época de sequía y una de lluvias, que se distribuyen en periodos de seis meses. La mitad seca del año corresponde al paso de los vientos alisios del Noreste.

En Colombia se encuentra este clima en Llanos Orientales, buena parte de la llanura del Caribe (zonas costeras), el final de las estribaciones de la cordillera Occidental (en el norte) y extensas porciones de los valles de los ríos Cauca y Magdalena.

Clima Tropical de Estepa: Este clima se caracteriza por su escasa vegetación y precipitaciones mínimas

Figura 16: Sabana Departamento de Bolívar



Fuente: <http://pwp.supercabletv.net.co/garcru/colombia/Colombia/clima.html>

Este clima se encuentra en una parte de las sabanas de Bolívar y del norte de La Guajira, a la parte central del llano (ríos Meta y Guaviare) y a las partes altas de las cordilleras, bordeadas de montañas que impiden el paso de los vientos húmedos y también a regiones bajas en los cañones montañosos.

Clima Tropical de Desierto: El Desierto Árido, es el tipo de desierto que se encuentra en Colombia (alta Guajira), se caracteriza por sus extremas temperaturas que sobrepasan los 29°C y su ausencia de precipitaciones; es la región menos lluviosa de Colombia ya que durante 7 meses al año no llueve. Esto se debe especialmente a su ubicación de frente a los vientos alisios del noreste (a barlovento), los cuales al absorber la humedad ambiental y no encontrar a su paso barreras montañosas dónde depositarla, resecan la tierra.

Figura 17:Desierto en la Guajira



Fuente: <http://pwp.supercabletv.net.co/garcru/colombia/Colombia/clima.html>

Clima Tropical de Montaña: Los climas de montaña son propios de la región andina. En las cordilleras, mesetas y valles de los Andes y en la Sierra Nevada de Santa Marta, el clima está determinado por la altura.

Figura 18: Chinchiná Caldas



Fuente: <http://gecolombia9b.wordpress.com/2011/08/02/clima-en-colombia/>

Las diferencias en el relieve dan lugar a los denominados pisos térmicos o niveles hasta los cuales predomina un tipo de clima; se distinguen los siguientes **pisos térmicos**.

5.4 PISOS TÉRMICOS

Permite determinar la temperatura de una zona, de acuerdo a la altura sobre el nivel del mar en que se encuentre. Este sistema solo se puede aplicar en el trópico ecuatorial, debido a sus características geográficas y atmosféricas.

Figura 19: Pisos Térmicos de Colombia



Fuente: <http://www.todacolombia.com/geografia/pisostermicos.html>

Los niveles que encontramos en los pisos térmicos son:

- **Piso Térmico Cálido:** Comprende las zonas ubicadas entre cero y mil metros de altura sobre el nivel del mar, que corresponde al 80% del territorio nacional, estas zonas presentan una temperatura promedio

superior a los 24°C y suelen llegar a temperaturas anuales superiores de 29°C. entre estas alturas se encuentran las llanuras costeras del Pacífico y Caribe, Valle del Magdalena, las llanuras del Orinoco y el Amazonas entre otros. Que corresponden a ciudades como: Bucaramanga, Barrancabermeja, Santa Marta, Cúcuta

- **Piso Térmico Templado o medio:** Comprende las zonas ubicadas entre los 1.000 metros y 2.000 metros de altura sobre el nivel del mar, corresponde al 10% del territorio nacional. La temperatura oscila entre los 17°C y 24°C en promedio, ubicándose en las zonas bajas de las montañas, se encuentran ciudades como: Medellín, Cali, Popayán.
- **Piso Térmico Frío:** Es característico de tierras altas, que se encuentren entre los 2.000 metros y 3.000 metros de altura sobre el nivel del mar, abarca aproximadamente el 8% del territorio nacional. La temperatura promedio está entre los 12°C y 17°C se localiza en las partes altas de las montañas, algunas de las ciudades que presentan estas temperaturas son: Bogotá, Tunja, Pasto, Manizales, Pamplona
- **Piso Térmico Páramo:** Corresponde a terrenos altos, que se ubiquen entre los 3.000 metros y 4.000 metros de altura sobre el nivel del mar, equivalen al 2% del territorio nacional. Se localiza en la parte superior de las montañas, presenta vientos helados, escasas lluvias y frecuentes nevadas por lo que la temperatura promedio oscilan entre los 6°C y 12°C. El más importante es el páramo de Sumapaz ubicado en el departamento de Cundinamarca y considerado el más grande del mundo.
- **Piso Térmico Glacial:** zonas con alturas superiores a los 4.000 metros sobre el nivel del mar, presenta temperaturas por debajo de los 6°C, temperaturas muy bajas, lluvias escasas, fuertes vientos helados y nevadas

frecuentes.. Este piso representa una menor superficie en Colombia con menos de 0.1%. La Sierra Nevada de Santa Marta, La Sierra Nevada del Cocuy, El Nevado del Ruiz, son algunos de los glaciares más reconocidos en el territorio Colombiano.

5.5 CICLO ANUAL DE PRECIPITACIONES ENCOLOMBIA

El régimen climático para la **Zona Andina** se caracteriza por una distribución bimodal de la precipitación, con dos periodos de valores máximos relativos y dos de mínimos relativos, influenciado ese tipo de distribución por los desplazamientos de la zona de Confluencia Intertropical (ZCIT).

En Colombia la Zona de Confluencia Intertropical fluctúa, aproximadamente, entre 0° de latitud, posición en la que se encuentra en enero-febrero y 10° de latitud norte, posición extrema que se puede alcanzar en julio-agosto. El desplazamiento ocasiona que en la mayor parte de Colombia se presente, durante el año, un doble máximo y un doble mínimo de precipitaciones y por supuesto, también de los demás elementos meteorológicos. Es decir, la Zona de Confluencia Intertropical, pasa por el centro de Colombia dos veces al año:

- Una primera vez, entre abril y mayo, cuando se desplaza hacia el norte y ocasiona el primer período lluvioso que va acompañado de un pequeño descenso de las temperaturas medias, con una disminución de las temperaturas máximas y un aumento de las mínimas.
- Una segunda vez, entre septiembre y octubre, cuando regresa de su posición norte más extrema, alcanzada en julio-agosto, y se dirige al sur, originando el segundo período lluvioso que es el más fuerte y que también

se acompaña de un descenso de las temperaturas medias, disminución de las temperaturas máximas y aumento de las mínimas.

Épocas de la Región Andina:

La Época húmeda: Se presenta en los meses de Marzo, Abril, Mayo, Septiembre, Octubre y Noviembre.

La Época Seca: Se presenta en los meses de Junio, Julio, Agosto, Diciembre, Enero y Febrero.

En algunas parte del país como son: **La Costa Atlántica, La Orinoquía, La Amazonía y Los Llanos Orientales**, el régimen de precipitaciones tiene un comportamiento diferente a la **Zona Andina**, esto depende del desplazamiento de la ZCIT; para estos sitios la distribución es unimodal, un solo periodo de valor máximos relativos y uno de mínimo relativo.

Otro factor importante que se debe tener en cuenta en el comportamiento de esta variable es el “fenómeno niño, niña” que se presenta con periodos de retorno no definidos causando en el caso del niño sequías acentuadas y en el caso de la niña lluvias muy intensas.

6. GENERACIÓN DE BASE DE DATOS PARA ESTACIONES SITUADAS A DIFERENTES ALTURAS EN COLOMBIA EN LA QUE SE ENCUENTRE INFORMACIÓN DE LA TEMPERATURA HORARIA.

La carencia de datos para diseñar pavimentos utilizando la guía AASHTO 2002 no permite realizar diseños bajo las condiciones climáticas del país, es por eso que en este proyecto se ha querido elaborar bases de datos de diferentes estaciones tratando de cubrir los diferentes pisos térmicos que se encuentran en Colombia. Se logró recolectar información importante de 4 estaciones ubicadas a lo largo del país en las cuales la diferencia de altura permitía cubrir en su gran mayoría los diferentes pisos térmicos del territorio nacional.

Las estaciones se presentan en la siguiente tabla con su respectiva cota de elevación sobre el nivel del mar.

Tabla 1. Estaciones climatológicas

Estacion	Altura [m.s.n.m]
Berlin-Tona	3316
Unipamplona-Pamplona	2362
San Antonio- Floridablanca	1480
Neomundo-Bucaramanga	970

Fuente. Editada por autores

Los datos fueron suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), estos corresponden a las temperaturas horarias durante periodos iguales o superiores a 2 años de las diferentes estaciones citadas en la tabla 1.

La información fue suministrada en archivo de texto (.txt) por lo cual fue necesario hacer un reordenamiento de los datos en archivos de tipo (*.xlsx), para esto se realizó los diferentes procedimientos de transformación, al igual que se hizo una revisión de la información de cada una de las estaciones con el objetivo de verificar que no faltara ningún dato ya que al momento de ser utilizados por el software este no presenten ningún tipo de error. Los archivos (*.xlsx) fueron importantes pues con ellos se logró de forma ágil y efectiva convertir los datos a unidades inglesas, condición necesaria para el modelamiento en el programa. Ver tabla 2.

Los información que se encuentran en los archivos (*.xlsx), por cada estación climatológica y por cada año contienen un número de 8760 datos, lo que quiere decir que para poder implementarlos en el software de la guía AASHTO 2002 se requiere como un mínimo de 17520 datos, lo que corresponde a dos años; los cuales fueron ordenados por días, meses, años y horas ver tabla 3, 4, 5.

Tabla 2.Ordenamiento de datos, Estación Berlín

Estacion	dd	mm	aaa	hr	T(°C)	T(°F)
Berlin	1	1	2010	0	-1.3	29.7
Berlin	1	1	2010	1	-2.9	26.8
Berlin	1	1	2010	2	-4.2	24.4
Berlin	1	1	2010	3	-5.2	22.6
Berlin	1	1	2010	4	-5.9	21.4
Berlin	1	1	2010	5	-6.3	20.7
Berlin	1	1	2010	6	-6.8	19.8
Berlin	1	1	2010	7	-5.3	22.5
Berlin	1	1	2010	8	5.7	42.3
Berlin	1	1	2010	9	7.9	46.2
Berlin	1	1	2010	10	9.0	48.2
Berlin	1	1	2010	11	9.9	49.8
Berlin	1	1	2010	12	11.7	53.1
Berlin	1	1	2010	13	12.4	54.3
Berlin	1	1	2010	14	13.1	55.6
Berlin	1	1	2010	15	12.1	53.8
Berlin	1	1	2010	16	10.7	51.3
Berlin	1	1	2010	17	9.8	49.6
Berlin	1	1	2010	18	6.9	44.4
Berlin	1	1	2010	19	4.2	39.6
Berlin	1	1	2010	20	4.8	40.6
Berlin	1	1	2010	21	1.8	35.2
Berlin	1	1	2010	22	0.4	32.7
Berlin	1	1	2010	23	0.5	32.9

Fuente. Autores

Tabla 3.Ordenamiento de datos, Estación Unipamplona

Estacion	dd	mm	aaa	hr	T(°C)	T(°F)
Unipamplona	1	1	2009	0	7	44.6
Unipamplona	1	1	2009	1	7.4	45.3
Unipamplona	1	1	2009	2	6.1	43.0
Unipamplona	1	1	2009	3	5.5	41.9
Unipamplona	1	1	2009	4	5.3	41.5
Unipamplona	1	1	2009	5	5.3	41.5
Unipamplona	1	1	2009	6	4.3	39.7
Unipamplona	1	1	2009	7	6.4	43.5
Unipamplona	.	.	.	.	.	.
Unipamplona	.	.	.	.	.	.
Unipamplona	.	.	.	.	.	.
Unipamplona	.	.	.	.	.	.
Unipamplona	.	.	.	.	.	.
Unipamplona	31	12	2010	18	15.9	60.6
Unipamplona	31	12	2010	19	15.9	60.6
Unipamplona	31	12	2010	20	15.9	60.7
Unipamplona	31	12	2010	21	15.9	60.7
Unipamplona	31	12	2010	22	16.0	60.7
Unipamplona	31	12	2010	23	16.0	60.8

Fuente. Autores

Tabla 4.Ordenamiento de datos, San Antonio

Estacion	dd	mm	aaa	hr	T(°C)	T(°F)
San Antonio	1	9	2009	0	18.2	64.8
San Antonio	1	9	2009	1	18.4	65.1
San Antonio	1	9	2009	2	18.8	65.8
San Antonio	1	9	2009	3	17.5	63.5
San Antonio	1	9	2009	4	17.8	64.0
San Antonio	1	9	2009	5	17.5	63.5
San Antonio	1	9	2009	6	17.0	62.6
San Antonio	1	9	2009	7	17.3	63.1
San Antonio	.	.	.	.	.	.
San Antonio	.	.	.	.	.	.
San Antonio	.	.	.	.	.	.
San Antonio	.	.	.	.	.	.
San Antonio	4	12	2011	18	19.2	66.6
San Antonio	4	12	2011	19	18.5	65.3
San Antonio	4	12	2011	20	18.4	65.1
San Antonio	4	12	2011	21	18.7	65.7
San Antonio	4	12	2011	22	17.9	64.2
San Antonio	4	12	2011	23	17.8	64.0

Fuente. Autores

Tabla 5.Ordenamiento de datos, Estación Neomundo

Estacion	dd	mm	aaa	hr	T(°C)	T(°F)
Neomundo	1	1	2009	0	21.5	70.7
Neomundo	1	1	2009	1	20.9	69.6
Neomundo	1	1	2009	2	21.3	70.3
Neomundo	1	1	2009	3	20.8	69.4
Neomundo	1	1	2009	4	20.8	69.4
Neomundo	1	1	2009	5	20.4	68.7
Neomundo	1	1	2009	6	20.2	68.4
Neomundo	1	1	2009	7	20.5	68.9
Neomundo	.	.	.	.	.	.
Neomundo	.	.	.	.	.	.
Neomundo	.	.	.	.	.	.
Neomundo	.	.	.	.	.	.
Neomundo	31	12	2011	18	22.3	72.1
Neomundo	31	12	2011	19	21.0	69.8
Neomundo	31	12	2011	20	20.1	68.1
Neomundo	31	12	2011	21	19.3	66.7
Neomundo	31	12	2011	22	18.9	66.0
Neomundo	31	12	2011	23	18.5	65.3

Fuente. Autores

La información completa de cada una de las tablas se encuentra en el anexo B. Teniendo los datos ordenados con su respectiva conversión a unidades inglesas se procede a generar un formato de archivos (*.icm). Para esto es necesario conocer la siguiente información, que en detalle se muestra en la figura 11.

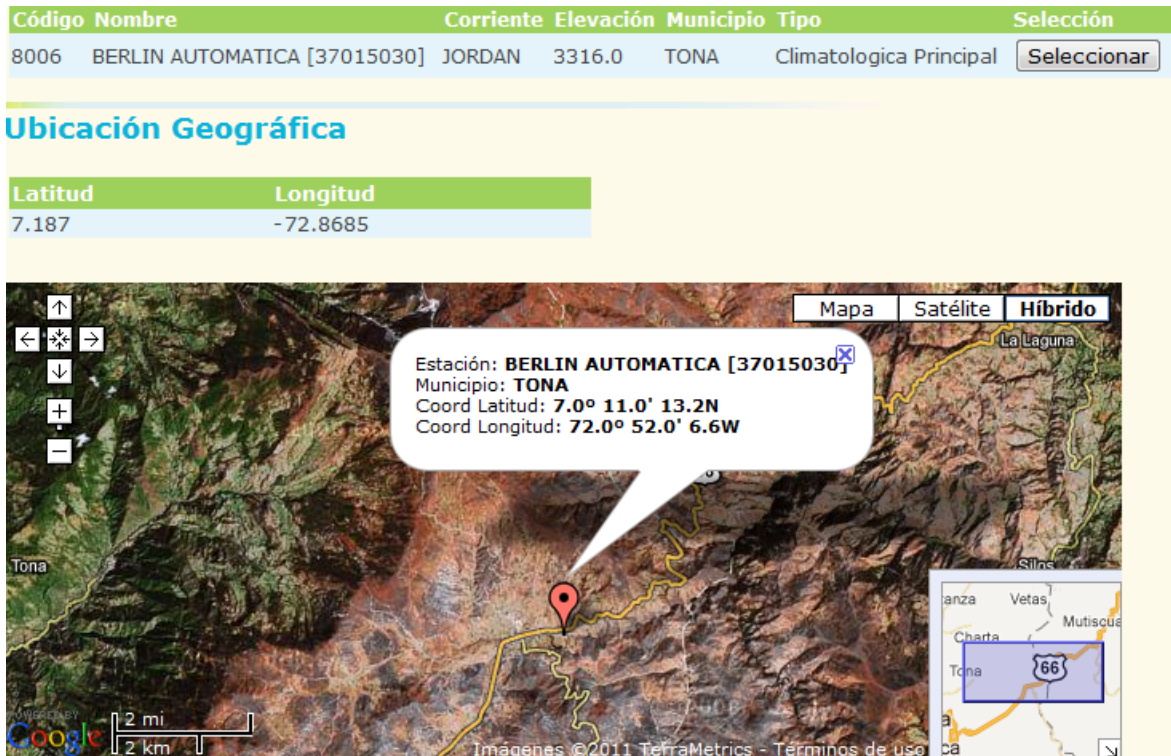
Longitud, Latitud, Cota: estos parámetros se obtuvieron de la página del Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales como se muestra en la figura 20.

Profundidad del nivel freático: Como la influencia de esta variable después de los 3 metros es leve, se decidió tomar este como un valor representativo.

Humedad media mensual: suministrada en los datos entregados por el (IDEAM).

Salida y puesta del Sol: Promedio mensual de estos datos obtenidos de la página <http://www.tutiempo.net/calendario-solar/>. Utilizando para cada mes una hora representativa y además se tuvo en cuenta que estos datos se expresaran en forma decimal.

Figura 20. Parámetros Geográficos de la estación de Berlín



Fuente: IDEAM, Editada por Autores

Los demás parámetros geográficos de cada estación se encuentran en el anexo A.

Cabe señalar que este proyecto solo está basado en el estudio climatológico, enfocado en la temperatura horaria del aire, por ello los archivos (*.icm) para este caso solo se presenta la información de este parámetro.

Siguiendo las recomendaciones de la guía se convirtió el archivo (*.xlsx), en un archivo de tipo (*.txt) generado en la herramienta WorPad compatible con el software.

En la figura 21 se muestra el archivo final para la estación de Berlín. Los archivos (*.icm) de otras estaciones se encuentran en el anexo C.

Figura 21. Archivo ICM Estación Berlín

```
20100101-20111231
-72.8685,7.187,10879,10,-1,-1,-1,-1,46.3,%,%,77,79,77,84,87,86,88,86,89,87,87,84
1 1 2010 6.08 17.91
0 29.7
1 26.8
2 24.4
3 22.6
4 21.4
5 20.7
6 19.8
7 22.5
8 42.3
9 46.2
10 48.2
11 49.8
12 53.1
13 54.3
14 55.6
15 53.8
16 51.3
17 49.6
18 44.4
19 39.6
20 40.6
21 35.2
22 32.7
23 32.9
1 2 2010 6.08 17.91
0 30.4
1 29.7
2 28.6
```

Fuente. Autores

7. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA VARIABLE TEMPERATURA A PARTIR DEL CONCEPTO DE GRADIENTE TÉRMICO VERTICAL

7.1 GRADIENTE TÉRMICO VERTICAL

Se define como la disminución de la temperatura con relación a la altitud, la cual corresponde en condiciones de una atmósfera normal a 0.6°C por cada 100 metros, partiendo de cero metros sobre el nivel del mar.

7.2 ELABORACIÓN DE TERMOGRAMAS

Teniendo los archivos (*.xlsx) ya ordenados, se procesó esta información para obtener de una forma eficaz la temperatura conociendo la altitud de una zona determinada.

Para verificar el comportamiento de temperaturas en el transcurso del año, en cada una de las estaciones, se realizó el termograma correspondiente, para lo cual fue necesario seguir el siguiente procedimiento:

Para este procedimiento se determinó escoger un año representativo que fue el 2010, para cada una de las estaciones climatológicas, debido a que los datos que se tienen en un solo año son suficientes para alcanzar los objetivos propuestos y la diferencia de temperatura entre un año y otro no fue considerable.

En cada año se realizó una selección de datos para cada estación, y los criterios de filtración fueron: mes, año y hora, con el objetivo de obtener promedios de temperaturas horarias mensuales, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Filtración de datos y promedio de hora mensual

	mm	aaa	hr	T(C°)
	1	2010	0	-2.9
	1	2010	0	-1.3
	1	2010	0	2
	1	2010	0	5.9
	1	2010	0	5.9
	1	2010	0	5.2
	1	2010	0	6.3
	1	2010	0	6.9
	1	2010	0	6.6
	1	2010	0	5.7
	1	2010	0	4.2
	1	2010	0	0.6
	1	2010	0	4.9
	1	2010	0	1.3
	1	2010	0	1.2
	1	2010	0	3.8
	1	2010	0	7.0
	1	2010	0	1.5
	1	2010	0	1.2
	1	2010	0	-4.4
	1	2010	0	4.8
	1	2010	0	6.6
	1	2010	0	6.7
	1	2010	0	5.4
	1	2010	0	7.7
	1	2010	0	7.8
	1	2010	0	8.1
	1	2010	0	7.4
	1	2010	0	7.4
	1	2010	0	7.0
	1	2010	0	6.7
DATOS FILTRADOS				
Temperatura Promedio Horaria Mensual				4.8

Fuente: Autores

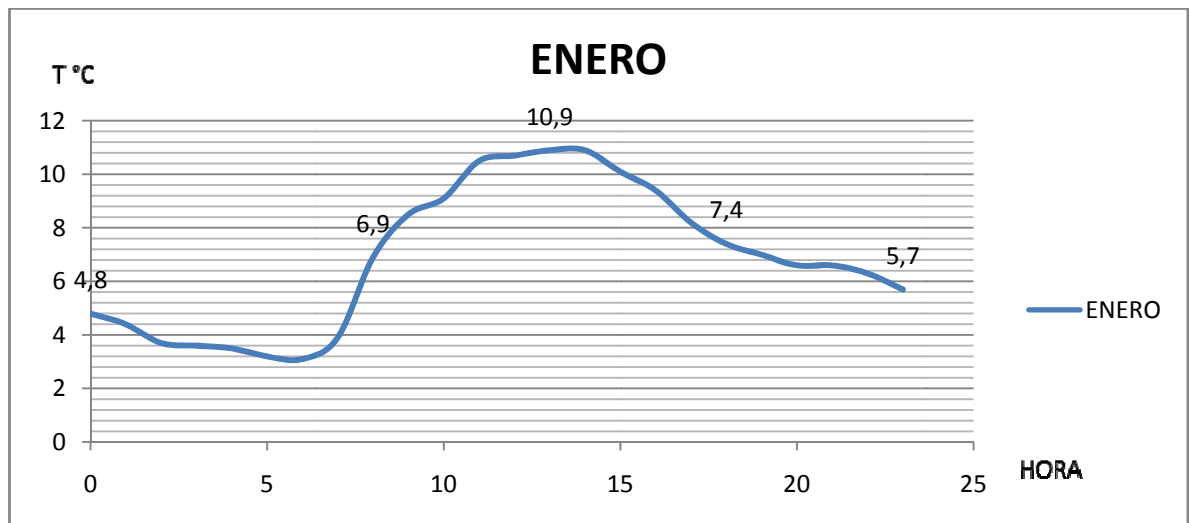
Con estos promedios se elaboró la variación de la temperatura por cada mes del año. Ver Figura 22

Tabla 7. Datos para elaborar termograma mensual

	HORA		T°C PROMEDIO
ENERO	0	0	4.8
	1	1	4.4
	2	2	3.7
	3	3	3.6
	4	4	3.5
	5	5	3.2
	6	6	3.1
	7	7	3.9
	8	8	6.9
	9	9	8.5
	10	10	9.1
	11	11	10.5
	12	12	10.7
	13	13	10.9
	14	14	10.9
	15	15	10.1
	16	16	9.4
	17	17	8.2
	18	18	7.4
	19	19	7
	20	20	6.6
	21	21	6.6
	22	22	6.3
	23	23	5.7

Fuente: Autores

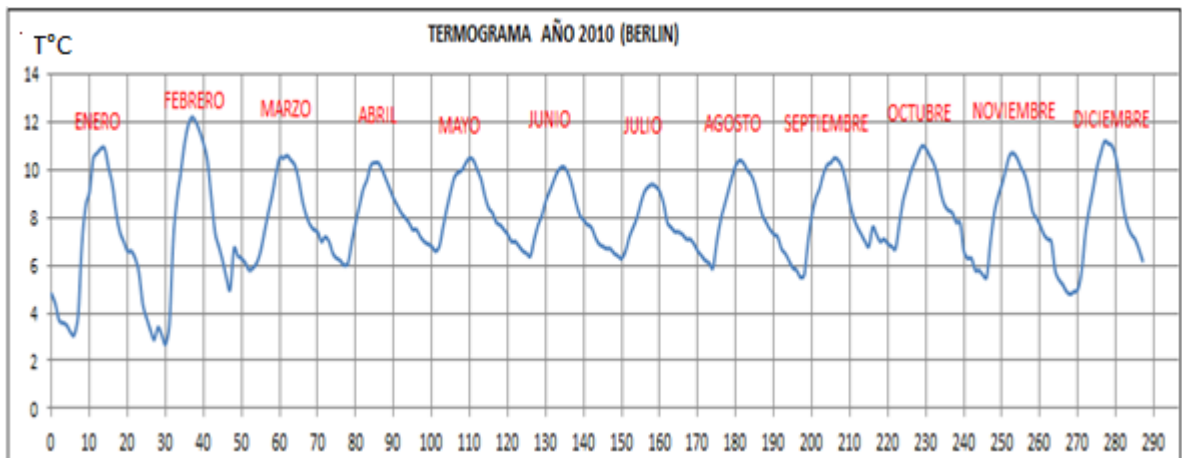
Figura 22. Termograma mes de Enero, estación Berlín



Fuente: Autores

Luego de obtener los gráficos del comportamiento mensual de la variación de la temperatura para las estaciones en estudio, se elaboró la gráfica correspondiente a la variación anual, donde se puede observar que el comportamiento típico es el siguiente:

Figura 23. Termograma anual de temperaturas promedios horarias mensuales



Fuete. Autores

Para observar las tablas de datos filtrados e información para elaborar el termograma mensual y anual de cada estación ver anexo B.

- Los meses de diciembre, enero, febrero y parte de marzo tienden a ser mayores debido a que corresponden a la época seca del año de la región andina
- Hacia finales de marzo y los meses de abril y mayo la tendencia es a disminuir debido a que coinciden con la primera época lluviosa del año de la zona en estudio.

- Junio, julio y agosto las temperaturas tienden a incrementarse ligeramente, no de manera tan apreciable como en el primer periodo seco, debido a que se encuentran en el periodo de transición; otro factor que incide en este comportamiento es el parámetro de viento, el cual presenta un aumento en su velocidad, para esta época del año.
- Hacia finales de septiembre, y los meses de octubre y noviembre, la temperatura tiende a descender ligeramente debido a la presencia del segundo periodo de lluvia del año, en la región andina.

7.3 PROCEDIMIENTO PARA GENERAR GRÁFICAS

Se organizaron los promedios horarios mensuales de cada estación, para los doce meses del año como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Promedios horarios mensuales para cada Estación

	Berlin	Unipamplona	San Antonio -Florida	Neomundo - Bucara	Vizcaina- Barranca	
ENERO	Hora	T°C PROMEDIO HORARIA				
	0	4.8	10.0	17.9	21.3	24.6
	1	4.4	9.8	17.6	20.9	24.3
	2	3.7	9.6	17.6	20.6	24.0
	3	3.6	9.4	16.8	20.3	23.8
	4	3.5	9.2	17.2	20.0	23.6
	5	3.2	9.2	17.3	19.5	23.4
	6	3.1	9.1	17.2	19.1	23.1
	7	3.9	10.2	17.1	19.4	24.4
	8	6.9	12.1	17.8	22.9	28.3
	9	8.5	13.6	18.1	25.1	30.9
	10	9.1	14.3	19.0	27.0	31.5
	11	10.5	14.4	20.3	28.6	32.7
	12	10.7	14.8	20.3	29.9	33.6
	13	10.9	14.7	20.2	29.7	34.6
	14	10.9	14.5	20.2	29.5	35.0
	15	10.1	14.3	20.0	29.0	35.6
	16	9.4	13.7	20.0	28.4	35.5
	17	8.2	13.0	19.8	27.4	34.0
	18	7.4	12.5	19.4	25.8	29.9
	19	7	11.9	18.8	24.6	27.4
	20	6.6	11.3	18.8	23.6	26.2
	21	6.6	11.1	18.5	22.8	25.4
	22	6.3	10.9	18.3	22.1	25.0
23	5.7	10.4	17.9	21.7	24.8	

Fuente. Autores

Para observar en totalidad los promedios horarios mensuales para cada estación ir al anexo D.

Teniendo como base esta información se incorporaron los datos de temperatura en el siguiente formato.

Tabla 9.Promedios de temperaturas horarias y su respectiva altitud (Enero)

Estacion	Temperatura °C	Altura [m.s.n.m]
Berlin-Tona	4.8	3316
Unipamplona-Pamplona	10.0	2362
San Antonio- Floridablanca	17.9	1480
Neomundo-Bucaramanga	21.3	970
Vizcaina - Barrancabermeja	24.6	114

Fuente: Autores

Se hace la aclaración que se trabajó con datos de las siguientes estaciones: Berlín, Unipamplona, San Antonio, Neomundo, Vizcaína, Villa Leiva, y Las Flores; como se observa se han incluido 3 nuevas estaciones.

La estación Vizcaína solo cuenta con datos horarios de temperatura del año 2010 por esta razón no pudo incorporarse a los archivos (*.icm), pero para esta metodología si se utilizaron, la estación de Villa Leiva y las Flores solo se utilizaron datos de las horas 7:00, 13:00 y las 19:00 debido a que el IDEAM solamente suministro esa información. Para estas horas el formato es el siguiente:

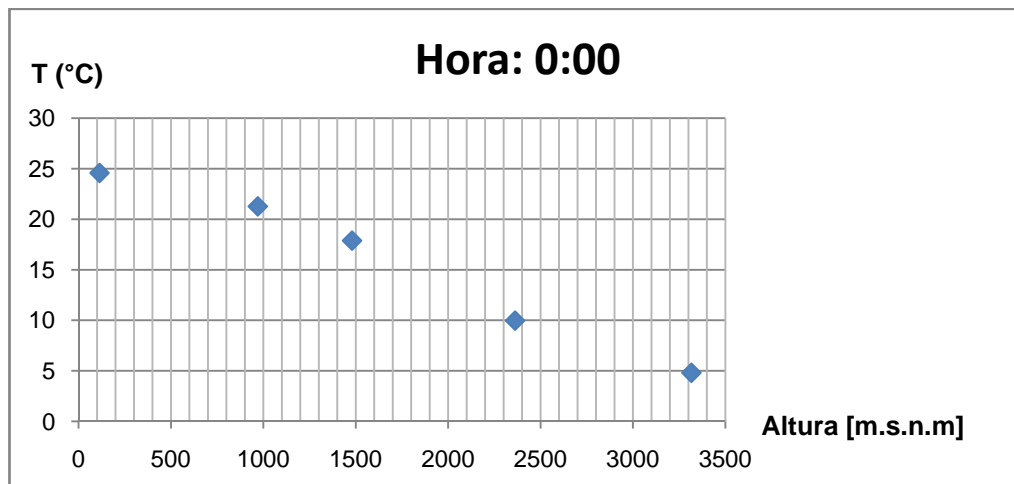
Tabla 10. Promedios de temperaturas horarias y su respectiva altitud (Enero)

Hora : 7		
Estación	temperatura [°C]	Altura [m.s..m]
Berlin - Tona	3.9	3316
Unipamplona-Pamplona	10.2	2362
San Antonio-Floridablanca	17.1	1480
Neomundo- Bucaramanga	19.4	970
Villa Leiva-Sabana de torres	24.4	328
Vizcaina- Barrancabermeja	24.4	114
Flores Las- Barranquilla	26.9	2

Fuente: Autores

Por cada tabla de datos se generó un gráfico. Ver figura 24

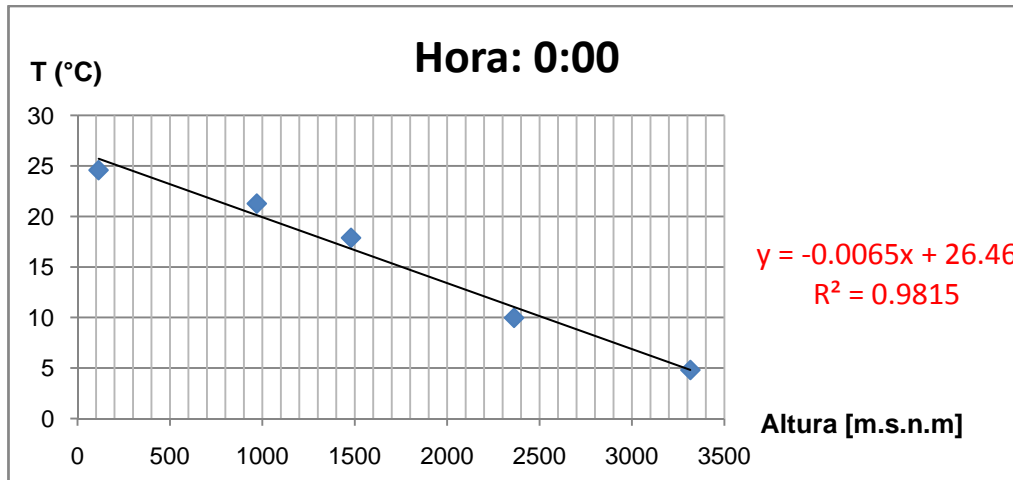
Figura 24. Gráfico generado con los datos de la tabla 9



Fuente. Autores

Para determinar una relación entre las variables de temperatura y altitud se ajustaron los datos a una línea de tendencia, y de esta se obtiene la ecuación correspondiente para cada tabla de datos para cada mes del año. Ver figura 25

Figura 25. Línea de tendencia con su respectiva ecuación (Enero)



Fuente: Editada por autores

Las tablas, gráficas y ecuaciones para cada mes del año 2010 se encuentran en el anexo E.

La ecuación $Y = -0.0065X + 26.46$ representa la variación lineal de la temperatura (variable dependiente), respecto a la altitud (variable independiente). Finalmente después de este procedimiento se obtuvo 24 ecuaciones por cada mes lo que sumó un número de 288 ecuaciones totales en el año (se podrán encontrar en el anexo F), que determinan la variación de la temperatura promedio horario, para cada uno de los meses en las diferentes estaciones. Ver tabla 11

Para cada ecuación generada se realizó el análisis del gradiente térmico vertical con lo cual se corrobora que estos no distan mucho del valor del gradiente térmico para una atmósfera estándar, el cual corresponde a un valor de 0.6 °C por cada 100 metros. Para el caso de la ecuación $Y = -0.0065X + 26.46$ el valor del gradiente térmico es de 0.0065 °C por cada metro, lo que se traduce en 0.65 °C por cada 100 metros.

Tabla 11. Ecuaciones generadas de algunos meses del año

HORA	Diciembre	Enero	Febrero	Junio	Julio	Agosto
0	$y = -0.0056x + 25.087$	$y = -0.0065x + 26.46$	$y = -0.0067x + 27.075$	$y = -0.0056x + 25.772$	$y = -0.0055x + 25.861$	$y = -0.0055x + 25.965$
	$R^2 = 0.9948$	$R^2 = 0.9815$	$R^2 = 0.9658$	$R^2 = 0.9983$	$R^2 = 0.9901$	$R^2 = 0.9902$
1	$y = -0.0057x + 24.883$	$y = -0.0065x + 26.167$	$y = -0.0068x + 26.875$	$y = -0.0057x + 25.69$	$y = -0.0054x + 25.643$	$y = -0.0054x + 25.537$
	$R^2 = 0.9934$	$R^2 = 0.9836$	$R^2 = 0.9669$	$R^2 = 0.9979$	$R^2 = 0.9878$	$R^2 = 0.9878$
2	$y = -0.0057x + 24.729$	$y = -0.0067x + 26.088$	$y = -0.0068x + 26.553$	$y = -0.0056x + 25.373$	$y = -0.0054x + 25.356$	$y = -0.0054x + 25.203$
	$R^2 = 0.9941$	$R^2 = 0.9815$	$R^2 = 0.9662$	$R^2 = 0.9941$	$R^2 = 0.9868$	$R^2 = 0.99$
3	$y = -0.0057x + 24.618$	$y = -0.0066x + 25.664$	$y = -0.0069x + 26.432$	$y = -0.0056x + 25.238$	$y = -0.0052x + 24.913$	$y = -0.0054x + 24.913$
	$R^2 = 0.9929$	$R^2 = 0.9865$	$R^2 = 0.9721$	$R^2 = 0.9961$	$R^2 = 0.9867$	$R^2 = 0.9886$
4	$y = -0.0057x + 24.431$	$y = -0.0066x + 25.527$	$y = -0.0067x + 26.053$	$y = -0.0056x + 25.156$	$y = -0.0052x + 24.646$	$y = -0.0053x + 24.714$
	$R^2 = 0.9933$	$R^2 = 0.9823$	$R^2 = 0.9712$	$R^2 = 0.9968$	$R^2 = 0.9828$	$R^2 = 0.9862$
5	$y = -0.0057x + 24.241$	$y = -0.0065x + 25.31$	$y = -0.0067x + 25.877$	$y = -0.0056x + 24.839$	$y = -0.0052x + 24.536$	$y = -0.0053x + 24.556$
	$R^2 = 0.9932$	$R^2 = 0.9812$	$R^2 = 0.9638$	$R^2 = 0.9948$	$R^2 = 0.9848$	$R^2 = 0.9857$
6	$y = -0.0056x + 24.045$	$y = -0.0065x + 25.002$	$y = -0.0067x + 25.72$	$y = -0.0055x + 24.726$	$y = -0.0052x + 24.382$	$y = -0.0053x + 24.415$
	$R^2 = 0.9926$	$R^2 = 0.981$	$R^2 = 0.966$	$R^2 = 0.9973$	$R^2 = 0.9828$	$R^2 = 0.9816$
7	$y = -0.0059x + 25.61$	$y = -0.0067x + 26.261$	$y = -0.0069x + 26.897$	$y = -0.006x + 26.481$	$y = -0.0057x + 26.053$	$y = -0.0056x + 26.052$
	$R^2 = 0.9849$	$R^2 = 0.9941$	$R^2 = 0.9844$	$R^2 = 0.9956$	$R^2 = 0.9839$	$R^2 = 0.9864$
8	$y = -0.0057x + 26.873$	$y = -0.0068x + 28.854$	$y = -0.0064x + 28.024$	$y = -0.0062x + 27.829$	$y = -0.0058x + 27.5$	$y = -0.0058x + 27.921$
	$R^2 = 0.9873$	$R^2 = 0.9918$	$R^2 = 0.9882$	$R^2 = 0.9948$	$R^2 = 0.9804$	$R^2 = 0.9804$

Fuente. Autores

Se procedió a programar en la herramienta Microsoft Excel la ecuación hallada para cada hora promedio mensual. Con el fin de obtener un valor de temperatura conociendo la variable independiente (Altitud). Ver Tabla 12

Tabla 12. Ecuaciones programadas

MES DE ENERO				
HORA	ECUACION	TEMPERATURA °C	TEMPERATURA °F	ALTITUD 1000
0	$y = -0.0065x + 26.46$	20.0	67.9	
1	$y = -0.0065x + 26.167$	19.7	67.4	
2	$y = -0.0067x + 26.088$	19.4	66.9	
3	$y = -0.0066x + 25.664$	19.1	66.3	
4	$y = -0.0066x + 25.527$	18.9	66.1	
5	$y = -0.0065x + 25.31$	18.8	65.9	
6	$y = -0.0065x + 25.002$	18.5	65.3	
7	$y = -0.0067x + 26.261$	19.6	67.2	
8	$y = -0.0068x + 28.854$	22.1	71.7	
9	$y = -0.0071x + 30.911$	23.8	74.9	
10	$y = -0.0073x + 32.14$	24.8	76.7	
11	$y = -0.0074x + 33.463$	26.1	78.9	
12	$y = -0.0076x + 34.468$	26.9	80.4	
13	$y = -0.0071x + 33.242$	26.1	79.1	
14	$y = -0.0079x + 35.053$	27.2	80.9	
15	$y = -0.0082x + 35.4$	27.2	81.0	
16	$y = -0.0084x + 35.272$	26.9	80.4	
17	$y = -0.0083x + 34.261$	26.0	78.7	
18	$y = -0.0074x + 31.182$	23.8	74.8	
19	$y = -0.0067x + 29.03$	22.3	72.2	
20	$y = -0.0066x + 28.122$	21.5	70.7	
21	$y = -0.0063x + 27.294$	21.0	69.8	
22	$y = -0.0062x + 26.786$	20.6	69.1	
23	$y = -0.0063x + 26.541$	20.2	68.4	

INSERTAR ALTITUD

Fuente. Autores

Cada una de las tablas programadas para cada mes del año se encuentra en el anexo G.

7.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para un manejo más adecuado de la información obtenidase realizó el siguiente análisis:

Como las estaciones climatológicas en estudio corresponden a la Zona Andina esta se caracteriza por una distribución bimodal de la precipitación, se procedió a seleccionar una ecuación base para cada época del año ya sea época húmeda o seca, teniendo en cuenta el coeficiente de correlación más óptimo, ya que al tomar valores cercanos a 1 la correlación es fuerte y directa, además se realizó un análisis entre las tres ecuaciones obtenidas por hora, donde se observó que al calcular la temperatura para una misma altitud, el resultado fue muy similar. Ver tabla 14 y Figura 26.

Las ecuaciones seleccionadas para la segunda época seca del año se muestran en la Tabla 13. Para ver el documento total ir al Anexo H

Tabla 13. Época región andina

SEGUNDA ÉPOCA CALIDA DEL AÑO			
HORA	Junio	Julio	Agosto
0	$y = -0.0056x + 25.772$	$y = -0.0055x + 25.861$	$y = -0.0055x + 25.965$
	$R^2 = 0.9983$	$R^2 = 0.9901$	$R^2 = 0.9902$
1	$y = -0.0057x + 25.69$	$y = -0.0054x + 25.643$	$y = -0.0054x + 25.537$
	$R^2 = 0.9979$	$R^2 = 0.9878$	$R^2 = 0.9878$
2	$y = -0.0056x + 25.373$	$y = -0.0054x + 25.356$	$y = -0.0054x + 25.203$
	$R^2 = 0.9941$	$R^2 = 0.9868$	$R^2 = 0.99$
3	$y = -0.0056x + 25.238$	$y = -0.0052x + 24.913$	$y = -0.0054x + 24.913$

	$R^2 = 0.9961$	$R^2 = 0.9867$	$R^2 = 0.9886$
4	$y = -0.0056x + 25.156$	$y = -0.0052x + 24.646$	$y = -0.0053x + 24.714$
	$R^2 = 0.9968$	$R^2 = 0.9828$	$R^2 = 0.9862$
5	$y = -0.0056x + 24.839$	$y = -0.0052x + 24.536$	$y = -0.0053x + 24.556$
	$R^2 = 0.9948$	$R^2 = 0.9848$	$R^2 = 0.9857$
6	$y = -0.0055x + 24.726$	$y = -0.0052x + 24.382$	$y = -0.0053x + 24.415$
	$R^2 = 0.9973$	$R^2 = 0.9828$	$R^2 = 0.9816$
7	$y = -0.006x + 26.481$	$y = -0.0057x + 26.053$	$y = -0.0056x + 26.052$
	$R^2 = 0.9956$	$R^2 = 0.9839$	$R^2 = 0.9864$
8	$y = -0.0062x + 27.829$	$y = -0.0058x + 27.5$	$y = -0.0058x + 27.921$
	$R^2 = 0.9948$	$R^2 = 0.9804$	$R^2 = 0.9804$
9	$y = -0.0067x + 29.714$	$y = -0.0064x + 29.49$	$y = -0.0063x + 29.908$
	$R^2 = 0.9871$	$R^2 = 0.9728$	$R^2 = 0.972$
10	$y = -0.0069x + 30.948$	$y = -0.0066x + 30.774$	$y = -0.0066x + 31.358$
	$R^2 = 0.9784$	$R^2 = 0.9662$	$R^2 = 0.9685$
11	$y = -0.0073x + 32.26$	$y = -0.0069x + 32.084$	$y = -0.0068x + 32.541$
	$R^2 = 0.9737$	$R^2 = 0.9686$	$R^2 = 0.9709$
12	$y = -0.0073x + 32.865$	$y = -0.0071x + 32.955$	$y = -0.0069x + 33.387$
	$R^2 = 0.972$	$R^2 = 0.9649$	$R^2 = 0.9703$
13	$y = -0.0069x + 32.173$	$y = -0.0066x + 31.991$	$y = -0.0065x + 32.496$
	$R^2 = 0.9627$	$R^2 = 0.9512$	$R^2 = 0.958$

14	$y = -0.0074x + 33.412$	$y = -0.0072x + 33.393$	$y = -0.0071x + 33.642$
	$R^2 = 0.9668$	$R^2 = 0.9722$	$R^2 = 0.9678$
15	$y = -0.0072x + 32.74$	$y = -0.0071x + 32.889$	$y = -0.0071x + 33.107$
	$R^2 = 0.9654$	$R^2 = 0.9696$	$R^2 = 0.9679$
16	$y = -0.0071x + 32.16$	$y = -0.0071x + 32.419$	$y = -0.007x + 32.738$
	$R^2 = 0.9665$	$R^2 = 0.9722$	$R^2 = 0.9706$
17	$y = -0.0069x + 31.237$	$y = -0.0068x + 31.235$	$y = -0.0068x + 31.605$
	$R^2 = 0.9739$	$R^2 = 0.9799$	$R^2 = 0.9783$
18	$y = -0.0065x + 29.543$	$y = -0.0065x + 29.652$	$y = -0.0063x + 29.736$
	$R^2 = 0.9854$	$R^2 = 0.9844$	$R^2 = 0.9903$
19	$y = -0.0062x + 28.232$	$y = -0.006x + 28.152$	$y = -0.006x + 28.152$
	$R^2 = 0.9926$	$R^2 = 0.9921$	$R^2 = 0.9921$
20	$y = -0.0059x + 27.205$	$y = -0.0059x + 27.421$	$y = -0.0058x + 27.482$
	$R^2 = 0.9965$	$R^2 = 0.994$	$R^2 = 0.9948$
21	$y = -0.0059x + 26.809$	$y = -0.0057x + 26.991$	$y = -0.0057x + 27.151$
	$R^2 = 0.9977$	$R^2 = 0.996$	$R^2 = 0.9931$
22	$y = -0.0058x + 26.396$	$y = -0.0057x + 26.727$	$y = -0.0057x + 26.794$
	$R^2 = 0.9969$	$R^2 = 0.9944$	$R^2 = 0.9927$
23	$y = -0.0057x + 26.114$	$y = -0.0056x + 26.366$	$y = -0.0055x + 26.266$
	$R^2 = 0.9969$	$R^2 = 0.9939$	$R^2 = 0.9905$

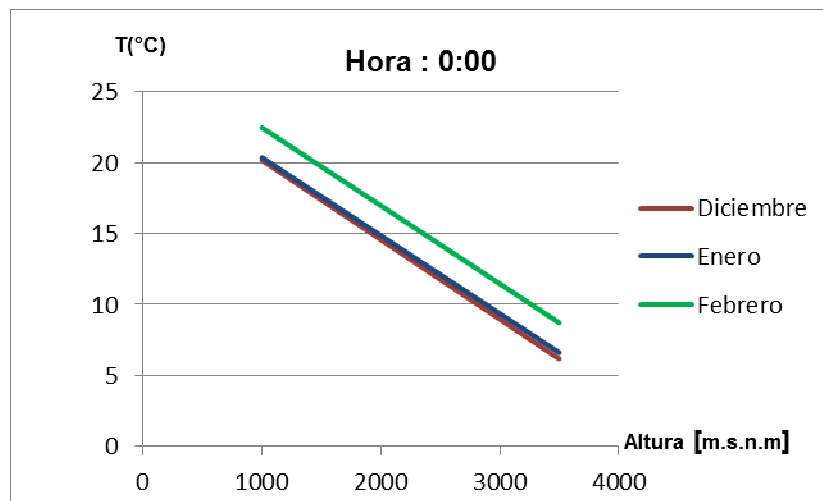
Fuente. Autores

Tabla 14. Comparación de ecuaciones

Hora 0:00	$y = -0.0056x + 25.772$		$y = -0.0055x + 25.861$		$y = -0.0055x + 25.965$	
	Junio		Julio		Agosto	
	X	Y	X	Y	X	Y
	1000	20.172	1000	20.361	1000	22.465
	1500	17.372	1500	17.611	1500	19.715
	2000	14.572	2000	14.861	2000	16.965
	2500	11.772	2500	12.111	2500	14.215
	3000	8.972	3000	9.361	3000	11.465
	3500	6.172	3500	6.611	3500	8.715

Fuente. Autores

Figura 26. Grafica comparativa según tabla 14



Fuente. Autores

Ya seleccionadas las ecuaciones representativas de cada época y hora; se programó una hoja de cálculo lo cual permite obtener un total de 96 ecuaciones. Como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Ecuaciones programadas segunda época cálida de la región andina

CALIDOS 2 (JUNIO , JULIO , AGOSTO)				
HORA	ECUACION	TEMPERATURA C°	TEMPERATURA F°	ALTITUD
				985
0	$y = -0.0056x + 25.772$	20.3	68.5	
1	$y = -0.0057x + 25.69$	20.1	68.1	
2	$y = -0.0056x + 25.373$	19.9	67.7	
3	$y = -0.0056x + 25.238$	19.7	67.5	
4	$y = -0.0056x + 25.156$	19.6	67.4	
5	$y = -0.0056x + 24.839$	19.3	66.8	
6	$y = -0.0055x + 24.726$	19.3	66.8	
7	$y = -0.006x + 26.481$	20.6	69.0	
8	$y = -0.0062x + 27.829$	21.7	71.1	
9	$y = -0.0067x + 29.714$	23.1	73.6	
10	$y = -0.0069x + 30.948$	24.2	75.5	
11	$y = -0.0073x + 32.26$	25.1	77.1	
12	$y = -0.0073x + 32.865$	25.7	78.2	
13	$y = -0.0069x + 32.173$	25.4	77.7	
14	$y = -0.0072x + 33.393$	26.3	79.3	
15	$y = -0.0071x + 32.889$	25.9	78.6	
16	$y = -0.0071x + 32.419$	25.4	77.8	
17	$y = -0.0068x + 31.235$	24.5	76.2	
18	$y = -0.0063x + 29.736$	23.5	74.4	
19	$y = -0.0062x + 28.232$	22.1	71.8	
20	$y = -0.0059x + 27.205$	21.4	70.5	
21	$y = -0.0059x + 26.809$	21.0	69.8	
22	$y = -0.0058x + 26.396$	20.7	69.2	
23	$y = -0.0057x + 26.114$	20.5	68.9	

Fuente. Autores

Para ver la programación completa ver anexo H

7.5 LIMITACIÓN

Es importante aclarar que las temperaturas horarias que se generan en las estaciones automáticas satelitales de la red del IDEAM deben ser validadas respecto a la serie de datos tomados en las estaciones convencionales y además deben cumplir con los siguientes lineamientos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM):

- Representatividad
- Continuidad
- Calidad

Puesto que las estaciones automáticas satelitales son relativamente nuevas, se encuentran en el proceso de validación, por eso es importante aclarar que los datos utilizados en el proyecto aún no han sido validados.

Es por esto que en algunas ecuaciones obtenidas en el proyecto puedan presentar algún desfase de la temperatura real en el sitio, al igual la obtenciones de estos datos es muy complicada pues es una información clasificada como especial por el IDEAM que solo está disponible en los aeropuertos.

En todo caso la metodología utilizada para el manejo de esta gran cantidad de datos es buena y puede ser implementada por cualquier persona.

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- ✓ Al observar los resultados de la generación de datos para los diferentes meses se concluye que la temperatura es constante desde las 18 horas hasta las 5:00 horas, se puede utilizar una sola ecuación modelo para estas horas, esto se debe a que el sol en el ecuador empieza a salir de 5:00 am a 6:00 am aproximadamente y desde este momento la tierra que es un planeta frío empieza a absorber energía, ya cuando el sol se oculta hacia las 18 horas la tierra emite energía pero este cambio de temperatura no es tan significativo debido a que no hay aporte de la misma.
- ✓ El valor del gradiente térmico vertical obtenido de las ecuaciones se aproxima al valor estándar de la atmósfera.
- ✓ En las horas del mediodía el gradiente térmico vertical se aumenta respecto al estándar ya que se tiene influencia directa de la energía que le aporta el sol a la tierra.
- ✓ Es importante aclarar que este estudio está enfocado a la región andina debido a que la información utilizada es de dicha región, y la temperatura en las diferentes regiones colombianas en el mismo mes puede variar significativamente por la presencia de precipitaciones, por ello se recomienda hacer un estudio en: La Costa Atlántica, la Orinoquia, la Amazonia y los Llanos Orientales, ya que el régimen de precipitaciones tiene un comportamiento diferente.
- ✓ Cabe señalar que este proyecto únicamente está basado en el estudio climatológico, enfocado en la temperatura horaria del aire, por ello los archivos (*.icm) para cada estación solo presentan información de este parámetro; las

demás variables que utiliza el software deben ser solicitadas al (IDEAM) porque corresponden a información especial y costosa. Pero la metodología elaborada es útil para la incorporación de estos en los archivos icm.

- ✓ Es importante dar continuidad a este proyecto , puesto que en la generación de los archivos ICM requiere información de otros parámetros del clima, para la obtención de estos datos se recomienda que la Universidad Industrial de Santander , retome el convenio con el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) para obtener la información de una manera ágil y efectiva.

BIBLIOGRAFÍA

ATLAS Climatológico Nacional, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C

CORTES Betancourt, Enrique. Estudio del Régimen de Temperaturas en Colombia, Bogotá, 1989.

Guide for mechanistic-empirical design asstho2002, national cooperative highway research program transportation research board national research council, 2004.

Página oficial del (IDEAM) www.ideam.gov.co/

ANEXOS

ANEXO A. Parámetros geográficos de las distintas estaciones utilizadas para la elaboración del proyecto.

Parámetros Geográficos

Código	Nombre	Corriente	Elevación	Municipio	Tipo	Selección
8006	BERLIN AUTOMATICA [37015030]	JORDAN	3316.0	TONA	Climatologica Principal	<input type="button" value="Seleccionar"/>

Ubicación Geográfica

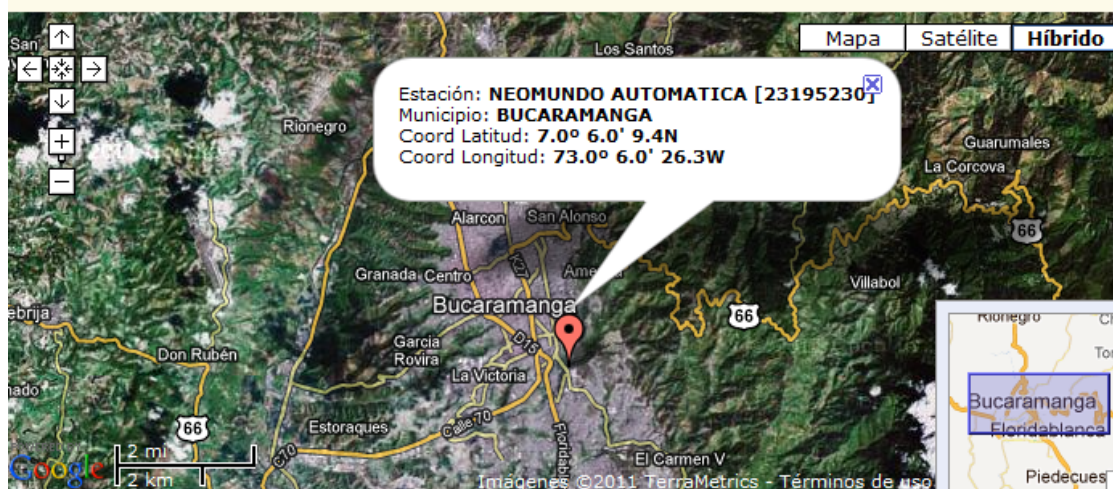
Latitud	Longitud
7.187	-72.8685



Código	Nombre	Corriente	Elevación	Municipio	Tipo	Selección
7939	NEOMUNDO AUTOMATICA [23195230]	ORO	970.0	BUCARAMANGA	Climatologica Principal	<input type="button" value="Seleccionar"/>

Ubicación Geográfica

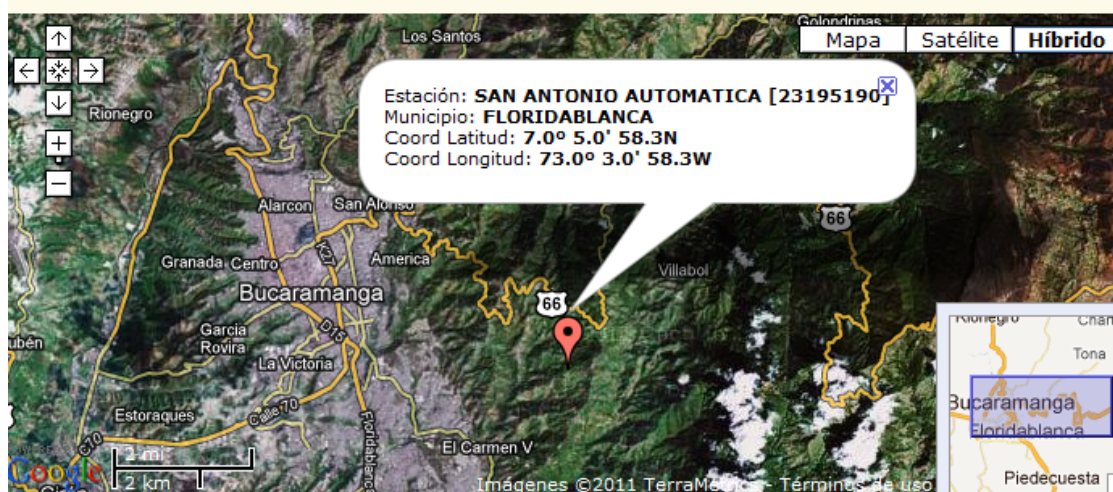
Latitud	Longitud
7.10261111111111	-73.1073055555556



Código	Nombre	Corriente	Elevación	Municipio	Tipo	Selección
3460	SAN ANTONIO AUTOMATICA [23195190]	FRIO	1480.0	FLORIDABLANCA	Climatologica Principal	<input type="button" value="Seleccionar"/>

Ubicación Geográfica

Latitud	Longitud
7.09952777777778	-73.0661944444444



Código	Nombre	Corriente	Elevación	Municipio	Tipo	Selección
7940	UNIV PAMPLONA AUTOMATICA [16015120]	PAMPLONITA	2362.0	PAMPLONA	Agrometeorologica	<input type="button" value="Seleccionar"/>

Ubicación Geográfica

Latitud	Longitud
7.3609444444444	-72.6660555555556



Código	Nombre	Corriente	Elevación	Municipio	Tipo	Selección
7981	VIZCAINA AUTOMATICA [24055080]	VIZCAINA	114.0	BARRANCABERMEJA	Agrometeorologica	<input type="button" value="Seleccionar"/>

Ubicación Geográfica

Latitud	Longitud
6.9829722222222	-73.7048888888889



Archivos anexos en CD. Por tamaño del documento

ANEXO B. DATOS DE TEMPERATURAS HORARIAS DE LAS ESTACIONES
BERLIN, NEOMUNDO, UNIPAMPLONA, SAN ANTONIO

ANEXO C. ARCHIVOS (ICM) ESTACIONES EN ESTUDIO

ANEXO D. PROMEDIOS HORARIOS MENSUALES

ANEXO E. TABLA GRAFICAS Y ECUACIONES

ANEXO F. ECUACIONES TOTALES

ANEXO G. ECUACIONES PROGRAMADAS

ANEXO H. SELECCIÓN DE ECUACIONES POR ÉPOCA

ANEXO I. DATOS ESPECIALES IDEAM